

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
UNIVERSIDAD NACIONAL
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**ASPECTOS PSICOFISIOLÓGICOS ASOCIADOS A LOS
PROCESOS DE RECUPERACIÓN DE LA FATIGA**

Tesis sometida a la consideración del Tribunal Examinador del Doctorado en Ciencias
del Movimiento Humano para optar por el grado de Doctorado Académico

Braulio Sánchez Ureña

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio y
Campus Presbítero Benjamín Núñez, Costa Rica

2017

Agradecimientos

Al Todopoderoso, por darme la fortaleza y las herramientas necesarias para alcanzar este logro, a mis Padres Ana Isabel Ureña Chinchilla y Braulio Sánchez Corrales, por su invaluable esfuerzo para darme el estudio y con este alcanzar muchas metas en mi vida. A mi esposa e hijo por el apoyo y comprensión a lo largo de mis estudios doctorales. A los miembros del comité asesor por su desinteresado e invaluable apoyo durante este proceso, Dr. Pedro Ureña Bonilla, Dr. Felipe Araya Ramírez y Dr. Juan José Romero Zúñiga. A mis compañeros y profesores del doctorado por el enriquecedor intercambio de experiencias, de manera particular a Kristy Barrantes por hacer de mis luchas las suyas y que de forma conjunta superásemos los distintos retos a lo largo de este proceso. A los amigos del Grupo de Avances en Entrenamiento Deportivo y Acondicionamiento Físico, de la Facultad de Ciencias del Deporte de la Universidad de Extremadura, por el apoyo brindado durante la pasantía doctoral. Al Dr. Julio Calleja González de la Universidad del País Vasco, por su apoyo constante en este proceso. A mis compañeros académicos de la Escuela Ciencias del Movimiento Humano y Calidad de Vida, por su colaboración durante este proceso. A los estudiantes que de forma desinteresada participaron en este estudio, en fin a todas aquellas personas que durante este camino me han apoyado y alentado a salir adelante con este reto.

Gracias a Todos!!!

Dedicatoria

Dedico este esfuerzo y logro a Dios y a quienes han sido parte de este, las personas que han estado a mi lado durante todos los momentos de este proceso sacrificándose en algunos momentos de manera incondicional, a estas grandes personas que son mi fuente de inspiración, mi esposa Gabriela Espinoza Acuña y mi hijo Gael Alonso Sánchez Espinoza, los amo.

“Esta tesis fue aceptada por la comisión del Programa de Estudios de Posgrados en Ciencias del Movimiento Humano de la Universidad de Costa Rica y de la Universidad Nacional, como requisito parcial para optar por el grado y título de Doctorado Académico en Ciencias del Movimiento Humano”



Dr. Alejandro Salicetti Fonseca
Representante del Sistema de Estudios de Posgrado, UCR



Dr. Francisco San Lee Campos
Representante del Consejo Central de Posgrado, UNA



Dr. Pedro Ureña Bonilla
Tutor



Dr. Felipe Araya Ramírez
Asesor



Dr. Juan José Romero Zúñiga
Asesor



Dr. Jorge Salas Cabrera
Representante de la Coordinación de Doctorado en Ciencias del Movimiento Humano



Braulio Sánchez Ureña
Sustentante

Tabla de contenidos

Agradecimientos	ii
Dedicatoria	iii
Tabla de contenidos	v
Resumen	vii
Abstract	ix
Listado de tablas	x
Listado de figuras	xi
Listado de abreviaturas	xii
Descriptores	xiv
Capítulo I: Introducción	1
Planteamiento del problema y justificación	1
Justificación.....	3
Propósito general.....	14
Objetivos	14
Capítulo II: Marco teórico	15
Proceso de recuperación.....	15
Tipos de recuperación	16
<i>De acuerdo a la temporalidad</i>	16
<i>Intra sesión:</i>	16
<i>Inter sesiones:</i>	16
<i>De acuerdo con la metodología utilizada</i>	16
Aspectos psicológicos asociados a los procesos de recuperación	17
Modelo RESTQ-SPORT	18
Indicadores psicológicos de recuperación poscompetencia	20
<i>La sensación el dolor muscular de aparición tardía (Delayed onset muscle soreness) (DOMS)</i>	20
<i>Percepción del nivel de recuperación</i>	24
Aspectos fisiológicos asociados a la recuperación de la fatiga	25
Fatiga.....	25
Tipos de fatiga.....	26
<i>Fatiga del Sistema Nervioso Central</i>	26

<i>Fatiga del Sistema Nervioso Periférico</i>	27
<i>Principales causas de la fatiga</i>	27
<i>Acumulación de metabolitos de desecho</i>	27
<i>Hipertermia</i>	28
<i>Daño muscular inducido por ejercicio</i>	29
Inmersión en agua como estrategia de recuperación posejercicio.....	31
<i>Tipos de inmersiones</i>	31
<i>Inmersiones en agua termo neutral</i>	31
<i>Inmersiones en agua caliente</i>	32
<i>Las inmersiones de contraste frío/ calor</i>	32
<i>Las inmersiones en agua fría</i>	32
Indicadores fisiológicos de recuperación posejercicio.....	33
<i>Temperatura corporal y de la piel</i>	33
<i>Función neuromuscular</i>	37
<i>Salto en contramovimiento (CMJ)</i>	37
<i>Evaluación tensiomiográfica</i>	40
<i>Tiempo de contracción muscular</i>	40
<i>Desplazamiento radial muscular</i>	41
<i>Volumen y edema muscular (inflamación)</i>	42
Mecanismos fisiológicos explicativos del uso de las inmersiones en agua fría como método de recuperación.....	44
<i>Vasoconstricción</i>	44
<i>Presión hidrostática</i>	45
<i>Efecto de las inmersiones en agua fría sobre la fatiga del sistema nervioso central</i>	46
<i>Efecto de las inmersiones en agua fría sobre la demanda cardiovascular</i>	48
<i>Efecto de las inmersiones en agua fría sobre la fatiga del sistema nervioso periférico</i>	50
<i>Efecto de las inmersiones en agua fría sobre la movilización de los metabolitos de desecho.</i>	50
<i>Efecto de las inmersiones en agua fría sobre el daño muscular inducido por ejercicio</i>	50
Capítulo III: Metodología	54
Tipo de estudio y diseño.....	54
<i>Tipo de estudio</i>	54
<i>Diseño:</i>	54

Participantes	54
Instrumentos, equipos y materiales	55
Procedimiento.....	59
<i>Fase 1: Estudio piloto</i>	59
<i>Fase 2: Estudio experimental</i>	60
<i>Protocolo de fatiga</i>	64
<i>Protocolo de recuperación</i>	63
Análisis estadístico.....	64
Capítulo IV: Resultados	65
Resultados en las variables psicológicas	66
Resultados de las variables fisiológicas	69
Capítulo VI: Discusión.....	75
Indicadores psicológicos de recuperación	75
<i>Percepción del dolor muscular</i>	75
<i>Percepción del nivel de recuperación</i>	77
Indicadores fisiológicos de recuperación	79
<i>Temperatura corporal</i>	79
<i>Función neuromuscular</i>	81
<i>Tiempo de contracción</i>	81
<i>Desplazamiento radial muscular</i>	82
<i>Capacidad de salto en contramovimiento</i>	83
<i>Volumen y edema muscular</i>	85
Capítulo VII: Conclusiones y recomendaciones	87
Conclusiones del estudio.....	87
Conclusiones generales	88
Recomendaciones	89
Referencias.....	91
Anexos	111

Resumen

El propósito de este estudio fue comparar el efecto de dos modalidades de inmersión en agua fría sobre indicadores psicológicos y fisiológicos de recuperación de la fatiga. Se realizó una investigación experimental aleatorizada con un diseño de medidas repetidas. Participaron cuarenta sujetos masculinos sanos con edad promedio de 21.8 ± 2.76 años, un peso corporal de 73.15 ± 8.15 kg, estatura promedio de 176.6 ± 5.3 cm y un porcentaje de grasa promedio de $13.5 \pm 3.4\%$. Los sujetos fueron sometidos a un protocolo de fatiga que consistió en realizar ocho series de 30 segundos de saltos continuos en contramovimiento, con una pausa de 90 segundos entre series. Los participantes fueron distribuidos aleatoriamente en una de las siguientes tres condiciones: grupo control (recuperación pasiva, 12 minutos sentados en la habitación a 23°C), grupo experimental uno (inmersiones en agua fría a $12 \pm 0.4^\circ\text{C}$ durante 12 minutos de manera continua), grupo experimental dos (inmersiones en agua fría a $12 \pm 0.4^\circ\text{C}$ durante 12 minutos de manera intermitente: 2 minutos dentro de la piscina, 1 minuto afuera de la piscina a temperatura controlado de 23°C). Se midieron indicadores psicológicos de recuperación (percepción del dolor muscular de aparición tardía (DOMS) y la percepción del nivel de recuperación) en cuatro momentos: antes de la intervención, inmediatamente terminado el protocolo de fatiga, después del protocolo de recuperación, a las 24 y 48 horas posteriores al mismo. En estos mismos momentos se midieron las variables fisiológicas capacidad de salto y volumen muscular. En el caso de la temperatura de la piel, el tiempo de contracción muscular, el desplazamiento radial muscular, se registraron previo al tratamiento, 24 y 48 horas posteriores al mismo. Se encontró diferencias estadísticamente significativas ($F(8,148) = 5.15$, $p < .001$, $\omega_p^2: .174$), en la variable percepción del dolor muscular. En todos los momentos de medición posterior al protocolo de recuperación ambos grupos experimentales presentaron un dolor muscular significativamente menor que el grupo control. Lo mismo ocurrió con la percepción del nivel de recuperación ($F(6, 111) = 2.49$, $p = .027$, $\omega_p^2: .070$). En ninguna de las variables fisiológicas se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p > .05$) entre grupos posterior al tratamiento. Las inmersiones de agua fría intermitentes y continuas tienen el mismo efecto sobre las variables psicológicas y fisiológicas analizadas en el presente estudio.

Abstract

The purpose of this study was to compare the effect of two types of cold water immersion on psychological and physiological variables of fatigue recovery. A randomized controlled trial (repeated measures design) was conducted with forty healthy male subjects (age 21.8 ± 2.76 years, 73.15 ± 8.15 kg body mass, 176.6 ± 5.3 cm height, and $13.5 \pm 3.4\%$ body fat). Subject went through a fatigue protocol consisting in 8 series of 30 seconds countermovement jumps with 90 seconds pauses between series. Subjects were randomized in one of three conditions: control group (passive recovery, 12 minutes sitting in a $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ room), continuous cold water immersions (12 minutes in water at $12 \pm 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$), and intermittent cold water immersions (a total of 12 minutes in water at $12 \pm 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ as follows: 2 minutes in cold water, 1 minute in a controlled environment at $23\text{ }^{\circ}\text{C}$, until the 12 minutes of immersions were completed). Psychological variables of recovery (delayed onset muscle soreness -DOMS- and self-rated recovery level) were measured. DOMS was measured five times: pre-treatment, immediately after the fatigue protocol, immediately after the recovery protocol, 24 and 48 hours post recovery protocol. Self-rated recovery levels and physiological variables jump capacity and muscle volume at those same times with the exception of immediately post recovery. Skin temperature, muscle contraction time, muscle radial displacement were measured pre-treatment, 24 and 48 hours post recovery. Statistically significant differences were found in DOMS ($F(8,148) = 5.15$, $p < .001$, $\omega^2: .174$). All measures post recovery protocol indicated less soreness perception in both treatment groups compared to control group. Similar results were found in the self-rated recovery level ($F(6, 111) = 2.49$, $p = .027$, $\omega^2: .070$). No statistical differences between groups were found in the physiological variables after treatment ($p < .05$). Both intermittent and continuous cold water immersions have the similar effect on the psychological and physiological variables analyzed in this study.

Listado de tablas

Tabla 1. Características descriptivas de las variables antropométricas y neuromusculares en línea base general y según tratamiento.	65
Tabla 2. Comparación de las variables temperatura promedio y temperatura máxima de la piel en muslo según grupo por momento de medición.	69
Tabla 3. Comparación del tiempo de contracción muscular en milisegundos del recto femoral y del bíceps femoral según grupo y por momento de medición.....	70
Tabla 4. Comparación del desplazamiento radial muscular en milímetros del recto femoral y del bíceps femoral según grupo y por momento de medición.....	71
Tabla 5. Comparación de la altura del salto en centímetros en el test del Counter Movement Jump entre grupos según momento de medición.	73
Tabla 6. Comparación del volumen muscular (ml) del muslo entre grupos según momento de medición.....	75

Listado de figuras

Figura 1. Diagrama de explicación del perfil estrés recuperación.	19
Figura 2. Integración de los mecanismos sugeridos por el cual las inmersiones en agua fría mejoran la recuperación.	53
Figura 3. Comparación inter e intra grupo para la variable percepción del dolor muscular por momento de medición.	66
Figura 4. Comparación inter e intra grupo para la variable percepción del nivel de recuperación por momento de medición.	67

Listado de abreviaturas

- ATP:** Adenosín trifosfato
- AV:** Activación voluntaria
- CMJ:** Saltos en contramovimiento
- CPK:** Creatininfosfoquinasa
- CWI:** Inmersiones en agua fría (Cold water immersion)
- CWT:** Inmersiones de contraste frío/ calor (contrast water therapy)
- DOMS:** Dolor muscular de aparición tardía (Delayed onset muscle soreness)
- Dm:** Desplazamiento radial muscular
- EED:** Estrés específico al deporte
- ENED:** Estrés no específico al deporte
- ES:** Tamaño del efecto (effect size)
- FCrep:** Frecuencia cardiaca en el reposo
- HT:** Hipertermia
- HWI:** Inmersiones en agua caliente (hot water immersion)
- LDH:** Lactatodeshidrogenasa
- mA:** Miliamperios
- ms:** Milsegundos
- MCV:** Máxima contracción voluntaria
- PER:** Percepción de esfuerzo realizado
- RED:** Recuperación específica al deporte
- RNED:** Recuperación no específica al deporte
- SNC:** Sistema nervioso central
- SSE:** Síndrome del sobreentrenamiento
- TWI:** Inmersiones en agua termo neutral (thermoneutral water immersion)
- TC:** Temperatura corporal
- Tc:** Tiempo de contracción muscular
- TP:** Temperatura de la piel
- VAS-PAIN:** Escala Visual Analógica para la percepción del dolor (Visual Analogic Scale for pain)

VO₂ máx: Consumo máximo de oxígeno

1RM: Una repetición máxima

Descriptorios

Métodos - Proceso - recuperación- deportistas- inmersiones agua fría- continuas- intermitentes- fisiológicos- psicológicos.

Capítulo I INTRODUCCIÓN

Planteamiento del problema y justificación

Desde sus inicios, en el contexto del entrenamiento deportivo se ha considerado la necesidad de promover espacios para estimular la recuperación del deportista como mecanismo de regulación ante los procesos de fatiga generados por los esfuerzos psicofísicos, con el objetivo de lograr los rendimientos máximos. Así lo indican los principios del entrenamiento de sobrecarga, continuidad y progresividad de la carga, los cuales se regulan por la manipulación de la carga externa y sus componentes (volumen, intensidad, densidad/frecuencia) (Lambert y Mujika, 2013). Paradójicamente la búsqueda de la excelencia deportiva, aumenta la probabilidad de sufrir alteraciones de orden psicofisiológicas, manifiestas a nivel físico como: lesiones por sobrecarga muscular, roturas musculares, lesiones de tipo ligamentosas, contracturas musculares y esguinces en diferentes articulaciones Noya y Sillero (2011), en lo psicológico el deportista sufre entre otras cosas: sobrecarga emocional, depresión, estrés, cólera, fatiga, confusión y enojo que se traducen en baja tolerancia psicofísica y finalmente altera el curso normal de las relaciones interpersonales del deportista (Moliner, Salgado, y Márquez, 2012), lo cual en conjunto podría deteriorar el rendimiento del deportista y ocasionar crisis a nivel individual y colectivo (Leza, 2005; Lorenzo-Calvo, 2001; Valcarce, 2011). Este combinado de alteraciones psicofísicas puede potenciar el riesgo de sufrir el síndrome del sobreentrenamiento (SSE) (Meeusen, Doclos, Foster, Fry, Gleeson, Nieman et al., 2012).

El costo económico para las instituciones deportivas, producto de esta problemática es significativo; según un estudio realizado por Noya y Sillero (2012), con 728 futbolistas pertenecientes a 27 equipos de la primera y segunda división del fútbol español durante la temporada 2008-2009, se encontró que las lesiones musculares por sobrecarga son las más frecuentes (516), lo cual representó una baja promedio de 87.6 días por equipo y temporada en que los futbolistas no estaban aptos para entrenar ni competir por esta causa, siendo la media de 4.6 días de baja por jugador. Otros datos importantes que arrojó este estudio fue que las roturas musculares y las lesiones ligamentosas, representaron 267.2 y 182.1 días de baja por equipo y temporada respectivamente, señalando que la mayor parte de las lesiones

se presentan durante la competencia siendo la incidencia de 40.2 lesiones por cada 1000 horas de competencia contra solo seis lesiones por cada 1000 de entrenamiento). En esta misma línea, Dvorak, Junge, Derman, y Schwellnus (2011), reportaron que durante la fase final de la Copa Mundial de Fútbol en Suráfrica en el 2010, la incidencia de lesiones fue de 61.1 por cada 1000 horas de competencia y 7.9 lesiones por cada 1000 horas de entrenamiento. Datos como los anteriores, han permitido a la Federación Internacional de Fútbol Asociado (FIFA) realizar estimaciones sobre el costo total de lesiones en el fútbol en todo el mundo, ascienden casi a la suma de \$30 mil millones al año (Giza y Micheli, 2005).

Esta problemática, se agrava debido a que hoy en día las demandas psicofísicas para un deportista profesional son cada vez mayores, puesto que no solo se está expuesto a la alta exigencia en el proceso de entrenamiento, sino que también se exponen a la alta densidad e intensidad de las competiciones, las cuales ya no solo responden a un ámbito local, sino que también se dan en el plano regional e internacional, lo que hace que se esté compitiendo hasta en tres torneos de manera simultánea (Terrados y Calleja-González, 2010).

Bajo estas circunstancias y con el objetivo de mantener el máximo rendimiento y alejar a los deportistas del riesgo de SSE, la presencia de lesiones y cuadros prolongados de fatiga, en los últimos años, los especialistas en el deporte de alto rendimiento, se han interesado en el desarrollo y el estudio de diferentes modalidades de recuperación (Leal et al., 2011; Vaile, Halson, y Graham, 2010), involucrando tanto aspectos fisiológicos como psicológicos, dado que para un adecuado proceso de recuperación es fundamental la restauración de los procesos fisiológicos y psicológicos sometidos a estrés durante la competencia deportiva (Meeusen et al., 2012).

A pesar del esfuerzo desplegado por los científicos en el campo de la recuperación deportiva, no existe un estado de conocimiento lo suficientemente fuerte sobre el alcance real de cada una de las diferentes modalidades de recuperación, entre las que podrían mencionarse las inmersiones en agua: inmersiones en agua caliente, en agua termo neutral, en agua fría e inmersiones de contraste frío/calor. Dado que estas estrategias de recuperación han tenido un gran incremento en su uso durante los últimos años (Burgess y Lambert, 2010; Hausswirts y Mujika, 2013; Versey et al., 2013).

Sobre la base de la problemática expuesta, el presente trabajo pretende investigar sobre: el perfil estrés-recuperación en deportistas costarricenses de alto rendimiento por medio de un estudio descriptivo; sistematizar la evidencia científica en cuanto al uso de las inmersiones en agua como método de recuperación mediante el empleo de la técnica meta analítica, determinar los efectos de dos distintas modalidades de inmersión sobre indicadores fisiológicos y psicológicos de la recuperación mediante un estudio experimental.

Justificación

En lo referente a los aspectos psicológicos, el modelo “RESTQ-SPORT” desarrollado por Kallus (1995), establece que el perfil subjetivo de estado estrés-recuperación, se obtiene a partir del análisis de los elementos estresores y de los mecanismos de recuperación tanto generales como específicos de la actividad deportiva, siendo el nivel de estrés-recuperación el indicador que permitirá identificar el grado de estrés físico y mental del deportista, así como la eficacia de las estrategias de afrontamiento que son empleadas para lograr la recuperación. (González-Boto, Salguero, Tuero, y Márquez, 2009). De manera que, cuando los niveles promedio de recuperación total son mayores que los niveles promedio de estrés total, se está en presencia de un perfil estrés-recuperación positivo. Por lo tanto, altos niveles de estrés asociados a bajos niveles de recuperación indican un perfil de estrés-recuperación negativo, el cual ocurre cuando el proceso de recuperación no es suficiente para la cantidad de estrés psicofísico que implica el entrenamiento y la competencia (Moliner, Salguero, y Márquez, 2011), de manera que la exposición crónica a esta situación se relaciona con cuadros propios del SSE (González-Boto, et al., 2009; Kallus y Kellmann, 2000; Valcarce, 2011). Para evitar esto, se hace necesario la implementación de estrategias de recuperación que permitan contrarrestar el estrés psicofísico que genera el entrenamiento y la competencia deportiva en forma adaptativa (Kellmann y Kallus, 2001), dentro de estas formas adaptativas destacan el afrontamiento orientado a la tarea y el afrontamiento orientado a la emoción o a la distracción (Márquez, 2006).

Sobre la base de este modelo (RESTQ-SPORT), se ha realizado varios estudios (González-Boto et al., 2009; Moliner, Salguero, y Márquez, 2011; Moliner, Salguero, y Márquez, 2012; Valcarce, 2011). González-Boto et al. (2009), a partir de una muestra

compuesta por 194 deportistas de 32 disciplinas deportivas (102 hombres y 92 mujeres), con una edad promedio de 21.2 años, obtuvieron como resultado en ambos momentos un perfil estrés-recuperación positivo en la muestra analizada, es decir, que las puntuaciones promedio de recuperación total fueron más altas que las puntuaciones promedio del estrés total.

En esta misma línea, en un estudio realizado por Molinero, Salguero, y Márquez (2011), con 141 sujetos de ambos sexos, se reportó un perfil estrés-recuperación positivo en la muestra. Por su parte, Molinero, Salguero, y Márquez (2012), en otro estudio con 167 deportistas españoles de ambos sexos, con una media de edad de 21 ± 2.39 años, en las tres mediciones realizadas a lo largo de una temporada registraron un perfil estrés-recuperación positivo en la muestra estudiada. Un estudio similar realizado por Valcarce, (2011), con una muestra de 46 sujetos con una media de edad de 24.39 ± 0.72 años, de los cuales 26 practicaban deportes colectivos y 20 de ellos lo hacían en deportes individuales, se reportó un perfil general estrés-recuperación positivo, el cual potencia el rendimiento del deportista en vista que dicho perfil se encontró con adecuados niveles de recuperación y con bajos indicadores de estrés.

Por otra parte, en cuanto a los aspectos de orden fisiológico, la literatura hace referencia a una serie de métodos y estrategias para facilitar los procesos de recuperación, entre los que destacan: técnicas de estiramiento, masaje deportivo, el uso de medias de compresión, estrategias para propiciar el sueño, estrategias ergo nutricionales, la propia hidratación, las inmersiones en agua fría y las inmersiones de contraste frío/calor (Hauswirts y Mujika, 2013), todos ellos dirigidos a contrarrestar los efectos de los mecanismos generadores de fatiga: la depleción de substratos energéticos, el acúmulo de metabolitos, el incremento de temperatura central, las alteraciones hidroelectrolíticas y el daño muscular inducido por ejercicio físico intenso (Terrados y Calleja-Gonzalez, 2010).

En el caso particular de la disminución de la fatiga producida por el daño muscular, las inmersiones en agua se han constituido en los últimos años en uno de los métodos de recuperación más empleados (Versey, Halson y Dawson, 2013), a pesar de que no se cuenta aún con suficiente evidencia científica en relación con la eficiencia de estas (Burgess y Lambert, 2010; Vaile, Halson, y Graham, 2010; Versey et al., 2013).

Se conocen cuatro modalidades de inmersiones en agua, a saber: inmersiones en agua fría, inmersiones en agua termo neutral, inmersiones en agua caliente e inmersiones de contraste frío/calor (Bieuzen, Bleakley, y Costello, 2013b, Versey et al., 2013). En la literatura se reportan dos diferentes posiciones en cuanto al rango de temperatura. Bieuzen et al., (2013b), indican que las inmersiones en agua fría utilizan temperatura menor a 15°C, en las inmersiones en agua termo neutral la temperatura oscila entre los 15°C y 36°C, las inmersiones en agua caliente son aquellas en que se registran temperaturas mayores a 36°C. Por su parte Versey et al. (2013), coinciden en que el punto de corte entre las inmersiones en agua termo neutral y caliente es de 36°C, pero discrepan en cuanto a la temperatura corte entre las inmersiones en agua fría y termo neutrales, indicando que las inmersiones en agua fría son aquellas en que el líquido está por debajo de los 20°C y no de los 15°C como lo indican (Bieuzen et al., 2013).

Los argumentos propuestos para explicar por qué estos métodos facilitan una mejor recuperación y reducen el tiempo requerido para ello, se apoyan principalmente en tres factores: *la presión hidrostática*, la cual presiona de manera perpendicular contra la superficie del cuerpo, generando la movilización de la sangre y de los líquidos intersticiales desde las extremidades hacia la cavidad central, el incremento del gasto cardiaco y la reducción de la resistencia periférica, lo que propicia la translocación de sustratos desde el músculo facilitando la reducción de la inflamación inducida por el ejercicio. Estos procesos, acompañados por la disminución de la actividad nerviosa a nivel muscular y el efecto anti gravitatorio, facilita la reducción de la sensación de fatiga y la conservación de la energía, lo que ayuda en el proceso de recuperación (Vaile, Halson, Gill, y Dawson, 2008a,b; Wilcock, Cronin, y Hing, 2006). Debe considerarse que la presión hidrostática varía según la profundidad de la inmersión (hasta la cintura, o hasta los hombros), siendo de 44, 81, y 118 mmHg a profundidades de 50, 100 y 150 cm, respectivamente (Versey et al., 2013).

El efecto analgésico y antiinflamatorio producido por la *vasoconstricción local* en el caso de las inmersiones en agua fría, limita el grado de inflamación y la producción de los subproductos metabólicos como el magnesio (Mg²⁺), adenosín difostato (ADP), el fosfato

inorgánico (Pi), lactato y el ion hidrógeno (H⁺), el amonio (NH₃) y el calor, reduciendo de esta manera el dolor y el malestar experimentado durante el movimiento (Bieuzen, 2013).

Finalmente, el ciclo *vasoconstricción/vasodilatación* ocasionado por las inmersiones de contraste frío/calor o dado por el cambio de temperaturas en las inmersiones intermitentes en agua fría, estimula el flujo de sangre, lo que reduce tanto la extensión como la duración de la inflamación, siendo uno de los mecanismos que permiten el desplazamiento de sustancias metabólicas como las citadas en el párrafo anterior (Cochrane, 2004).

En el caso de las inmersiones en agua termo neutral (TWI por sus siglas en inglés), se utilizan temperaturas del agua entre los 20°C a 36°C, estas son empleadas con el objetivo estudiar los efectos propios de la presión hidrostática sobre la recuperación (Bieuzen, Bleakley, Costello, 2013). También este rango de temperatura ha sido estudiado para analizar sus efectos sobre la recuperación, siendo el rango del tiempo de inmersión usado en estos estudios entre 15 a 30 minutos, además han utilizado la ejecución de ejercicios de bajo intensidad como nadar, caminar u otros ejercicios de tipo aeróbico durante el periodo de inmersión (Cortis, Tessitore, D'Artibale, Meeusen, y Caprani, 2010; Dawson, Gow, Modra, Bishops, y Sterwart, 2005; Takahashi, Ishihara, y Aoki 2006; Tessitore, Meeusen, Cortis, y Caprini, 2007; Tessitore et al., 2008). Al respecto, se registran, resultados a favor del grupo experimental en el rendimiento del salto horizontal, pero no así en la capacidad de repetir "sprint" a las 15 horas después de un juego de fútbol australiano, o al menos el mantenimiento de la potencia muscular 24 horas después de correr cuesta abajo (Dawson et al., 2005; Takahashi et al., 2006). En contraposición, otros estudios (Cortis et al., 2010; Tessitore et al., 2007; Tessitore et al., 2008), reportaron la ausencia de efectos positivos en la recuperación después del uso de las TWI. De acuerdo con lo reportado en la literatura, la poca evidencia existente sugiere que las TWI en combinación con ejercicios aeróbicos, podrían favorecer los procesos de recuperación; sin embargo, es evidente la necesidad de más estudios en esta línea de investigación.

Las inmersiones en agua caliente (HWI por sus siglas en inglés), son aquellas en que la temperatura del agua es superior a las 36°C. Existen pocos estudios realizados en esta línea (Kuligowski, Lephart, Giannantonio, y Blanc, 1998; Vailey et al., 2008; Viitasalo et al., 1995) y los tiempos de inmersión han oscilado entre los 10 y 24 minutos (Versey et al., 2013). De manera detallada, un primer estudio realizado con el protocolo de HWI,

(Viitasalo et al., 1995), se reportó que las HWI continuas en agua a 37°C durante 20 minutos, mejoraron el rendimiento durante la prueba de saltos continuos; sin embargo, no se presentó mejoras en el rendimiento de la fuerza máxima isométrica en una extensión de pierna. De igual manera, Kuligowski, Lephart, Giannantonio, y Blanc (1998), aplicaron un protocolo de 24 minutos con el agua a 39°C, pero no encontraron diferencias significativas en la generación de fuerza máxima isométrica durante la flexión de codo.

Asimismo, Vailey et al. (2008), bajo un protocolo de 14 minutos en agua a 38°C, con una inmersión en agua a nivel de los hombros, durante cinco días continuos posterior al entrenamiento de carreras cortas a alta intensidad “sprint”, no reportan efectos significativos sobre la recuperación en la capacidad de repetir carreras cortas a alta intensidad “sprint”. Basado en los resultados obtenidos en estos estudios, no recomiendan el uso de las HWI como técnica de recuperación (Versey et al., 2013).

En el caso de las inmersiones de contraste frío/ calor (CWT por sus siglas en inglés), se reportan una serie de beneficios fisiológicos como: el incremento y reducción de la temperatura de los tejidos y del flujo sanguíneo, cambios en la distribución de flujo sanguíneo, reducción de los espasmos musculares, disminución de la inflamación y aumento del movimiento (Vaile et al., 2010). También se indican disminuciones significativas en los niveles de lactato después de ejercicio anaeróbico intenso (Morton, 2007); se reducen las manifestaciones fisiológicas y funcionales del dolor muscular de aparición tardía (DOMS por sus siglas en inglés) (Elias, Wyckelsma, Varley, McKenna, y Aughey, 2013; Ingram, Dawson, Goodman, Wallman, y Beilby, 2009; Kuligowski et al., 1998, Robey, Dawson, Goodman, y Beilby, 2009; Pournot, Bieuzen, DuYeld, Lepretre, Cozzolino, y Hausswirth, 2011, Vaile, Gill, y Blazevich, 2007). Por otro lado, se aumenta la actividad simpática (Stanley, Buchheit, y Peake, 2012) y la percepción de recuperación (Coffey, Leveritt, y Gill, 2004, Stanley, Peake, y Buchhet, 2012). A nivel bioquímico, se registran datos que indican que el uso de CWT no disminuye los niveles de creatininfosfoquinasa (CPK) por sus siglas en inglés (Robey et al., 2009), ni contribuyen a disminuir las manifestaciones del DOMS (Dawson et al., 2005). Esta discrepancia en los hallazgos podría deberse entre otras cosas al protocolo empleado en cada estudio, por cuanto la relación de tiempo frío/calor, es decir, la proporción en términos relativos 1:1, 2:1, 3:1 varía entre los diversos estudios.

En lo referente a las inmersiones en agua fría (CWI por sus siglas en inglés), se caracterizan por el uso de temperaturas entre los 5 y 20 °C, con un tiempo de inmersión entre los 5 y 15 minutos. La evidencia científica indica que por medio del agua fría, se generan una serie de cambios fisiológicos como: la disminución de la temperatura de la piel y de la temperatura interna (Enwemeka, Allen, Ávila, Bina, Konrade, y Munns, 2002; Merrick, Jutte, y Smith, 2003; Peiffer, Abbiss, Watson, Nosaka, y Laursen, 2010a), disminuye la inflamación aguda, el edema localizado y el volumen muscular a nivel del muslo (Vaile et al., 2008c), disminuye la sensación del dolor muscular (Bailey, Erith, Griffin, Dawson, Brewer, Grant, y Williams, 2007; Delextrac y Calleja-González, 2012; Ingram, et al., 2009; Minnett, Duffield, Bullaut, Cannon, Portus, y Marino, 2014; Pointon, Duffield, Cannon, y Marino, 2011; Rowsell, Coutts, Raeburn, y Hill-Haas, 2011), aumenta la actividad parasimpática después del ejercicio, favoreciendo los procesos de recuperación (Al Haddad, Laursen, Chollet, Lemaitre, Ahnire, y Buchheit, 2010, Stanley, Buchheit, y Peake, 2012).

Por otro lado, permite que mejore el rendimiento neuromuscular, expresado en la capacidad de repetir saltos en contramovimiento (CMJ) (Vaile et al., 2008c), favoreciendo la recuperación de la fuerza isométrica y la potencia muscular (Vaile et al., 2008c). Asimismo, mejora la percepción de la recuperación (Brophy et al., 2012; Stanley et al., 2012) y disminuye la percepción de fatiga (Delextrat et al., 2012, Rowsell, Coutts, Reaburn, y Hill-Haas, 2011). Únicamente un estudio ha analizado el efecto de las CWI sobre los indicadores tensiomiográficos (García-Manso et al., 2011), quienes reportaron que disminuciones significativas en el desplazamiento radial muscular, en el caso de la variable tiempo de contracción no se encontraron diferencias significativas.

En general, las CWI disminuyen las manifestaciones fisiológicas y funcionales relacionadas con el DOMS, registradas mediante la función muscular, los niveles de inflamación, la percepción del dolor, y la reducción de rango de movimiento (Elias et al., 2013; Montgomery et al., 2008; Stanley et al., 2012; Vaile et al., 2008c).

A pesar de los efectos mostrados por la CWI sobre la recuperación, algunos autores indican que las inmersiones en agua fría no tienen ningún efecto sobre la recuperación del deportista (Hamlin, 2007; Jakeman, Macrae, y Eston, 2009; Paddon y Quigley, 1997;

RowSELL et al., 2009), por lo que la controversia de sus efectos sobre la recuperación aún persiste.

En cuanto a la modalidad de inmersión en agua fría, la evidencia científica no es suficientemente clara (Burgess y Lambert, 2010; Hauswirts y Mujika, 2013; Versey et al., 2013). En lo referente a las inmersiones continuas, la mayoría de los estudios las han comparado con condiciones control o recuperación pasiva, (Howatson, Goodall, y van Someren, 2009; Peiffer, Abbiss, y Watson, 2010a; Vaile et al., 2008; Vaile et al., 2011), reportando efectos positivos sobre la recuperación del deportista, con protocolos de inmersión continua en agua fría, como la disminución de la temperatura corporal y muscular, y el mantenimiento del rendimiento en la capacidad de repetir carreras cortas a alta intensidad “sprints”.

Por otro lado, hay quienes han utilizado CWI de forma intermitente, reportando que esta forma de inmersión no tiene efectos sobre la recuperación y el rendimiento del deportista (RowSELL et al., 2009; Sellow, Brukner, Williams, Nicol, y Hinman, 2007). Sin embargo, (Ingram et al., 2009; Delextrat et al., 2012) utilizando CWI de manera intermitente reportan efectos positivos sobre la recuperación del atleta, como la disminución del dolor muscular, la sensación de fatiga, el rápido retorno a los niveles basales en la capacidad de repetir carreras cortas a alta intensidad “sprints” y un mejor rendimiento en la capacidad de salto.

A pesar que las inmersiones en agua fría como método de recuperación es uno de los más utilizados, la evidencia científica relacionada con los efectos de las CWI sobre la recuperación y en particular sobre modalidad de inmersión (continua vs. intermitente) es escasa (Burgess y Lambert, 2010; Versey et al., 2013). Dado lo anterior sigue existiendo controversia sobre el tipo de protocolo a utilizar, es decir, qué combinación de aspectos como el tiempo de la inmersión, temperatura del agua y tipo de inmersión (continua o intermitente), y cómo estos pueden favorecer los estados de recuperación considerando las condiciones de alta exigencia que caracteriza al deporte de alto rendimiento hoy en día, especialmente por la frecuencia e intensidad con que se compete. Por lo cual, es preciso que los científicos del deporte realicen cada vez mayores esfuerzos para ofrecer un protocolo cada vez más eficaz y confiable en materia de recuperación psicofísica del deportista.

A raíz de lo anterior y con el objetivo de clarificar la evidencia científica al respecto, en la última década se han publicado revisiones sistemáticas sobre el uso de las CWI, las

cuales concluyen que no hay un método o protocolo claramente definido que garantice la máxima eficacia en el proceso de recuperación (Cochrane, 2004; Bleakley, y Davison, 2010; Wilcock et al., 2006; Burgess y Lambert, 2010; Versey et al., 2013).

La comunidad científica ha centrado sus esfuerzos en la técnica meta analítica, de manera tal que recientemente se han publicado varios meta análisis, uno de ellos centrado en las CWI Leeder, Gissane, Van Someren, Gregson, y Howatson, (2012), en el cual se reporta un tamaño del efecto positivo y moderado de estas sobre la disminución del DOMS y el salto como manifestación de la potencia muscular, un tamaño del efecto pequeño sobre la disminución del CPK, como indicadores de recuperación. El realizado por Bieuzen, Bleakley, y Costello (2013a), cuyo objeto de análisis fueron las CWT, reportándose que las inmersiones de contraste en comparación con la recuperación pasiva tienen efectos positivos como la disminución del dolor muscular, los niveles de CPK y otros indicadores bioquímicos de daño muscular como la lactato deshidrogenasa a las 48 horas postfatiga. El tercero fue realizado como parte de este proceso doctoral (Sánchez- Ureña, Barrantes-Brais, Ureña-Bonilla, Calleja-González, y Ostojic, (2015), (Anexo 2), en el cual se analizaron estudios donde se ejecutaron protocolos de inmersión en las modalidades agua fría y en contraste frío/calor, los resultados de este meta análisis indican que el tamaño del efecto positivo y moderado de las CWI sobre las variables CPK y DOMS, no así en el caso de las inmersiones de contraste frío/calor, donde se obtuvo un tamaño del efecto no significativo. Por su parte, Murray y Cardinale (2015), reportan en su meta análisis que las CWI no tienen efectos positivos sobre variables fisiológicas como: CPK, lactato deshidrogenasa (LDH), ni sobre indicadores de potencia muscular como el CMJ y la capacidad de realizar carreras cortas a alta intensidad “sprint”, ni sobre variables perceptivas del DOMS y del nivel de recuperación, destacando que este meta análisis fue realizado sobre estudios donde los sujetos eran adolescentes. Otro meta análisis publicado en ese mismo año (Hohenauer, Taeymans, Baeyens, Clarys, y Clijsen, 2015), reportan que las CWI generan efectos positivos en indicadores subjetivos del DOMS a las 24 y 48 horas; sin embargo, en indicadores fisiológicos como el nivel de lactato, niveles de LDH, interleucina- 6 (IL-6), no presentan tamaños del efecto significativos.

Recientemente, Higgins, Greene, y Baker (2016), también realizan un meta análisis sobre las CWI y las CWT, donde reportan que las CWI no presentaron tamaños del efecto

significativos en variables como el salto CMJ a las 24 horas, la percepción de la fatiga a las 72 horas y valoración subjetiva del DOMS. Por último, Machado et al. (2016), en su meta análisis donde analizan la variable percepción del dolor muscular, utilizando la temperatura del agua (5°C- 10°C y de 11°C a 15°C) y el tiempo de inmersión (5 a 10 minutos y de 10 a 15 minutos) como variables moderadores, reportan que los protocolos donde se utiliza temperaturas entre los 11°C a 15°C y con una duración entre de 10 a 15 minutos, son los que reportan tamaños del efecto positivo en comparación con protocolos con temperaturas entre 5°C a 10°C y tiempos de inmersión por debajo de los 10 minutos.

Tanto las revisiones sistemáticas recientes, estudios experimentales y meta análisis, la evidencia científica muestra divergencia en cuanto a sus resultados, lo que no permite aún establecer un protocolo específico para cada tipo de inmersión, en cuanto a elementos como la temperatura, el tiempo de la inmersión (Machado et al., 2016) han dado una buena contribución. No obstante, en aspectos como la modalidad (continuo o de intervalos) en el caso de las inmersiones en agua fría, no hay suficiente evidencia, lo que obliga a continuar investigando y combinando los distintos elementos del protocolo (temperatura del agua, tipo de inmersión y tiempo de esta), con el objetivo de establecer el protocolo óptimo de cada tipo de inmersión (Vaile et al., 2010, Versey et al., 2013).

Bajo este escenario y teniendo claro que los procesos de recuperación del deportista, están influenciados tanto por aspectos de orden psicológico, social y fisiológico, se plantearon las siguientes interrogantes para este estudio: (1) ¿Cuál es el perfil estrés-recuperación en deportistas costarricenses de alto rendimiento?; (2) ¿qué indica la evidencia científica sobre los efectos de uso de las técnicas de inmersión como método de recuperación de la fatiga provocada por el daño muscular?; (3) ¿cuáles son los efectos de las modalidades de inmersión en agua fría continua e intermitente sobre indicadores fisiológicos y psicológicos de recuperación de la fatiga?

Para dar respuesta a estos cuestionamientos, se realizó un primer estudio, denominado Niveles subjetivos estrés-recuperación en deportistas costarricenses de alto rendimiento (Sánchez-Ureña, Ureña-Bonilla, y Calleja-González, 2014) (Anexo 1), con una muestra de deportistas (n=239), de los cuales 189 fueron futbolistas profesionales de la primera división, 30 basquetbolistas de la liga superior de baloncesto y 17 seleccionados nacionales de fútbol playa. Como instrumento de recolección de la información se utilizó el

Cuestionario “RESTQ-Sport” conocido también como “RESTQ-76”. En este estudio se determinó que el perfil estrés-recuperación en la población evaluada fue positivo. Es decir, que las puntuaciones promedio en los indicadores de recuperación tanto propios como externos a la actividad deportiva (entrenamiento y competencia) fueron mayores (Recuperación total = 4.34 ± 0.72 UA) que los registrados en los elementos asociados con agentes estresores propios y externos al ámbito deportivo (Estrés total = $1.35 \pm 0,63$ UA), estos resultados tuvieron un comportamiento similar con lo reportado por otros autores como (González-Boto et al., 2009; Molinero et al., 2011; Valcarce, 2011).

Asimismo, se encontró que las dimensiones estresoras que más afectan a la población estudiada fueron conflictos/presión y forma física/lesiones. El factor que menos contribuye a la recuperación de los deportistas costarricenses participantes en este estudio fue el correspondiente a calidad de sueño. Dentro de las principales conclusiones de este trabajo se destaca la importancia que toma la identificación del perfil estado estrés-recuperación para prevenir los efectos dañinos que se generan por centrarse exclusivamente en las cargas físicas de entrenamiento, como factor fundamental en el proceso de recuperación del deportista.

En relación con el segundo cuestionamiento, se procedió a realizar un meta análisis Sánchez- Ureña et al. (2015), (Anexo 2), en el cual se analiza estudios donde se ejecutaron protocolos de inmersión en las modalidades agua fría y en contraste frío/calor, analizándose finalmente once estudios. Los resultados de este meta análisis indican que el tamaño del efecto (ES) global, para las inmersiones en agua fría fue significativo y moderado (ES = 0.38, IC [0.18, 0.58]), en el caso de las inmersiones de contraste frío/calor, se obtuvo un tamaño del efecto global no significativo (0.17, IC [0.00, 0.33]), para este estudio las variables analizadas fueron niveles de CPK y DOMS.

De este estudio se desprende la existencia de un efecto positivo moderado (ES=0.38, IC [0.18, 0.58]), de las inmersiones en agua fría en el proceso de recuperación. No obstante, no se logró establecer pautas para la determinación de un protocolo específico y óptimo, en cuanto al tiempo de inmersión, temperatura del agua, modalidad (continua o intermitente) en el caso de las inmersiones en agua fría. Sin embargo, cabe señalar que la evidencia analizada en este trabajo, tuvo como sus principales características: una temperatura del agua fría entre 8°C - 15°C y una duración de la inmersión dentro los 10 y los 15 minutos, ya

fuesen estos de manera continua o intermitente, para este último caso los ciclos de inmersión mantuvieron una relación desde los 2:1 hasta los 9:1 entre el tiempo de inmersión en agua fría y el tiempo fuera del agua, respectivamente.

En el caso de las inmersiones de contraste, la temperatura del agua caliente osciló entre los 38°C- 42°C, y la fría de igual manera entre los 8°C - 15°C con un tiempo de inmersión de un minuto en frío y dos o tres minutos en caliente, o sea, relaciones 1:2, 1:3. Por tanto se señala la necesidad de que en futuros estudios se analicen aspectos como la relación de tiempos en las inmersiones frías intermitentes o de contraste frío/calor, la duración total de la inmersión y la propia temperatura, de manera que esto permita detallar cada vez más un protocolo para cada tipo de inmersión.

Siguiendo con esta línea de estudio y basados en los resultados del meta análisis, donde se reportó efectos beneficiosos en el uso de inmersiones en agua fría, se plantea el diseño de un estudio experimental, donde se comparen los efectos de dos modalidades de inmersión en agua fría (continua vs. intermitente). Lo anterior con el objetivo de dar respuesta a la tercera interrogante de este trabajo, buscando con ello contribuir al establecimiento de pautas para el desarrollo de un protocolo eficaz para cada modalidad. Finalmente, antes de proceder a dar detalles metodológicos de este tercer estudio, cabe señalar algunos elementos valiosos relacionados con el aporte de este trabajo.

Aporte teórico: el abordaje dado desde lo psicofisiológico, permite la comprensión holística de los procesos asociados a la recuperación del deportista.

Aporte metodológico: las características metodológicas de este proceso, las cuales tienen una secuencia evolutiva del proceso (estudio descriptivo – estudio meta analítico – estudio experimental), el hecho que este tercer estudio se sustente sobre la base de hallazgos obtenidos de un meta análisis, permitirán que los elementos teóricos enmarcados, analizados y generados desde este proceso de disertación tengan el suficiente sustento para contribuir al estado del conocimiento en el campo de la recuperación del deportista. Además, destacar la utilización de una amplia cantidad de indicadores de recuperación (siete) tanto de tipo fisiológicos como psicológicos, el uso de tecnologías recientes para la medición de las variables dependientes poco estudiadas en el campo de la recuperación como la capacidad muscular a través de la tensiomiografía.

Aporte práctico: dadas las características metodológicas expuestas anteriormente, los resultados obtenidos en este trabajo contribuirán en la búsqueda de un protocolo óptimo para cada tipo de inmersión, el cual será de fácil aplicación, de manera que los profesionales en ciencias del movimiento humano cuenten con esta herramienta en los campos laborales que así lo ameriten.

Propósito general

El propósito de este trabajo fue analizar aspectos de tipo psicológico y fisiológico asociados a los procesos de recuperación de la fatiga.

Metodológicamente se identifican a lo largo de este proceso doctoral de tres momentos, para los cuales se establecen objetivos específicos:

Objetivos

Primer momento: Determinar los niveles subjetivos de estrés-recuperación en deportistas costarricenses de alto rendimiento. (Anexo 1).

Segundo momento: Crear un meta análisis sobre el efecto de las inmersiones en agua en distintas modalidades como método de recuperación de la fatiga producida por el daño muscular (Anexo 2).

Tercer momento: Comparar el efecto de dos modalidades de inmersión en agua fría sobre indicadores psicológicos y fisiológicos de recuperación de la fatiga. Para este tercer estudio se plantean las siguientes hipótesis:

- 1) La exposición a inmersiones continuas e intermitentes en agua fría favorece significativamente la recuperación en aspectos psicológicos.
- 2) La exposición a inmersiones continuas e intermitentes en agua fría favorece significativamente la recuperación en aspectos fisiológicos.
- 3) La respuesta de los indicadores psicológicos y fisiológicos de recuperación varía significativamente en función del tipo de protocolos de inmersión.

Capítulo II

MARCO TEÓRICO

El objetivo de este capítulo es dar sustento teórico al tema de los aspectos psicológicos y fisiológicos relacionados con el proceso de recuperación de la fatiga después de la competencia deportiva. En primera instancia se hará un abordaje de los aspectos teóricos generales de la recuperación como concepto y algunos elementos que ayuden a comprender este proceso, para posteriormente analizar las dimensiones relacionadas con el modelo “RESTQ-SPORT” el cual establece el perfil subjetivo de estado estrés-recuperación, tema estudiado en el primer momento del presente proceso de investigación. Seguidamente se revisan los aspectos teóricos generales de la fatiga, para finalizar en el análisis de los fundamentos conceptuales sobre los que se basa el uso de las inmersiones en agua fría como parte de los procesos de recuperación, aspecto estudiado en el segundo y tercer momento. Esto se desarrollará desde la presentación de la evidencia científica que explica los mecanismos que argumentan su eficacia como método de recuperación, así como evidencia científica que permita discutir los hallazgos registrados en el comportamiento de las variables psicológicas y fisiológicas analizadas en el estudio experimental desarrollado en este tercer momento del proceso.

Proceso de recuperación

De acuerdo con Kellmann y Kallus (2001), la recuperación puede definirse como la compensación de la fatiga o la disminución de rendimiento, este proceso está orientado al restablecimiento del estado basal bajo el principio de la búsqueda de la homeostasis. Para que esto ocurra es necesario conocer el tipo de actividad o la naturaleza del estímulo al que ha sido sometido el atleta en aspectos como el volumen y la intensidad, ya que el tiempo de recuperación está estrechamente ligado al tipo de estímulo. Es decir, para que se dé una correcta recuperación se considera fundamental conocer el tipo de fatiga y los mecanismos que la producen (Terrados y Calleja-González, 2010).

Bajo este enfoque la recuperación podrá ser abordada desde distintas formas, las cuales se establecen en un protocolo diseñado en función del tipo de fatiga a tratar, la temporalidad y los métodos o estrategias con que se cuente para acelerar la recuperación del deportista. Para ello se hace necesario conocer algunos aspectos como el tipo de recuperación que se desea y algunas metodologías empleadas para lograrlo. (Terrados y Calleja-González, 2010).

Tipos de recuperación

De acuerdo con Terrados y Calleja-González (2010), la recuperación del deportista puede ser analizada desde dos vertientes, en función de la temporalidad y en función del método empleado.

De acuerdo a la temporalidad

Intra sesión:

Se refiere a los espacios de recuperación que se dan a lo interno de una sesión de entrenamiento, es decir, entre series y repeticiones de una tarea, siendo su efecto a corto plazo. Está orientada a dar los espacios necesarios para el restablecimiento de las funciones orgánicas a un nivel que permitan seguir con el entrenamiento, la naturaleza de estos espacios en cuanto a su duración y frecuencia van a estar determinados por los objetivos que se persigan con la carga de entrenamiento (Terrados y Calleja-González, 2010).

Inter sesiones:

Se refiere al espacio de tiempo que existe entre las sesiones de entrenamiento o entre competencias. En este caso es importante mencionar que en función de la frecuencia de entrenamientos y cercanías de competencias, y los mecanismos productores de fatiga en cada uno de esos escenarios, dependerá la temporalidad (inmediatez), el tipo de metodología o estrategias empleadas para definir el protocolo de recuperación, sea este intra sesiones, entre sesiones-competencias o entre competencia-competencia (Terrados y Calleja-González, 2010).

De acuerdo con la metodología utilizada

Cabe destacar que tanto en la temporalidad intra sesiones como inter sesiones, se puede hacer uso de distintas estrategias entre las que se pueden citar: las ergo nutricionales, las cuales están básicamente orientadas a mitigar los efectos propios de la depleción de los sustratos energéticos, las estrategias basadas en el control de la hidratación, los métodos dirigidos a disminuir la temperatura corporal, las estrategias dirigidas a mitigar los efectos de la acumulación de metabolitos de desecho y otras estrategias concentradas en reducir el daño muscular inducido por el ejercicio. Teniendo claro que la temporalidad con que sean aplicadas es determinante para propiciar el efecto recuperador que con ellas se busca, estas distintas estrategias supracitadas se suelen clasificar en estrategias ergo nutricionales, físicas y fisiológicas (Terrados y Calleja-González, 2010).

Importante mencionar que el componente psicológico también es fundamental en el proceso de recuperación posterior al entrenamiento y las competencias, como lo es el entrenamiento del atleta en uso de mecanismos de afrontamiento orientados en la tarea. Lo anterior basado en lo propuesto por Kellmann y Kallus, (2001), quienes indican que la recuperación es un proceso multifactorial donde los aspectos fisiológicos, psicológicos y sociales interactúan en el tiempo para recuperar del atleta, de manera que sus capacidades y su rendimiento estén en el nivel adecuado en el momento necesario, sea este el entrenamiento o la competición.

Una vez comprendido el concepto de recuperación posterior al entrenamiento y la competencia, los aspectos de temporalidad y las estrategias que pueden favorecer dicho proceso, se procede a analizar los elementos teóricos de los aspectos psicológicos y fisiológicos de manera separada.

Aspectos psicológicos asociados a los procesos de recuperación

Históricamente en la psicología del deporte se ha hablado de recuperación del deportista como el proceso posterior a sufrir una lesión y como hacer uso de estrategias o métodos para mantener la motivación, la vitalidad, y mitigar el estrés, la desmotivación y la ansiedad que acompañan a un deportista en el escenario de sufrir una lesión (Lemyre y Fournier, 2013). Sin embargo, en los últimos años y dada la naturaleza y la frecuencia de entrenamientos y competencias a que está expuesto el deportista, se ha entendido que es un

error no prestar atención a aspectos psicológicos tanto propios como externos a la actividad deportiva, así como a los mecanismos de afrontamiento a estas demandas psicofísicas, puesto que la alta y frecuente competencia predispone en mayor medida a que el deportista sufra de sobrecarga no funcional y esto aumento del riesgo de caer en cuadros de sobreentrenamiento (González-Boto et al., 2009). Este escenario ha generado que autores como Kellmann y Kallus (2001), empezaran a estudiar el proceso de recuperación del deportista desde otro enfoque más amplio y no solo centrados en el fenómeno de una lesión. Con este cambio de paradigma estos autores desarrollaron lo que hoy se conoce como el modelo RESTQ-SPORT, en cual se enmarca el perfil estrés- recuperación (González-Boto et al., 2009).

Modelo RESTQ-SPORT

El modelo “RESTQ-SPORT” desarrollado por Kallus (1995), interrelaciona las situaciones de estrés, las necesidades de recuperación a partir de ellas, la capacidad individual para soportar el estrés y los recursos personales de recuperación. Se asienta sobre el principio de que a medida que el estrés aumenta, es necesario que se activen los procesos de recuperación en forma paralela y de manera proporcional (Kellmann, Altenburh, Lormes y Steinacker, 2001).

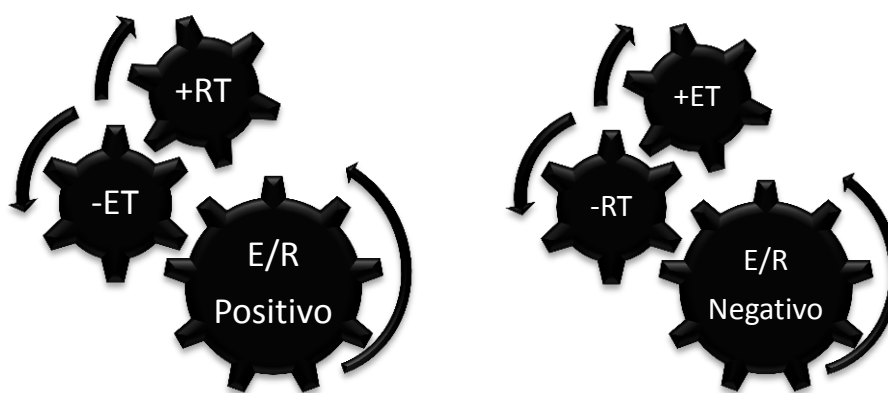
Bajo este enfoque el modelo permite establecer lo que se conoce como el perfil subjetivo de estado estrés – recuperación, el cual se obtiene a partir del análisis de los elementos estresores y de los mecanismos de recuperación tanto generales como específicos de la actividad deportiva. De acuerdo con (González-Boto et al., 2009), el nivel de estrés – recuperación se constituye en un indicador que permita identificar el grado de estrés físico y mental del deportista, así como la eficacia de las estrategias de afrontamiento utilizadas.

De acuerdo con Kellman y Kallus (2001), dentro de los agentes estresores que componen la dimensión estrés no específico al deporte (ENED) están: estrés general, estrés emocional, estrés social, conflictos/presión, fatiga, falta de energía y alteraciones físicas. En cuanto a los aspectos que componen la dimensión recuperación no específica al deporte (RNED) se encuentran: el éxito, recuperación social, recuperación física, bienestar general, calidad del sueño.

En lo referente al estrés específico al deporte (EED) se identifican las escalas: periodos de descanso alterados, sensación de estar quemado o fatigado/fatiga emocional y forma física/lesiones, finalmente la dimensión recuperación específica al deporte (RED) se compone de: bienestar/estar en forma, sensación de estar quemado o fatigado/realización personal, autoeficacia y autorregulación.

De la combinación de las escalas estrés general y específico se obtiene *la escala de estrés total*, constituido por el promedio de las medias de todas las subescalas de estrés y *la escala de recuperación total* compuesta por el valor promedio de las medias de todas las subescalas de recuperación (González-Boto et al., 2009).

Dado lo anterior, es evidente que cuando los niveles promedio de recuperación total son mayores que los niveles promedio de estrés total, se está en presencia de un perfil estrés-recuperación positivo. Contrariamente, altos niveles de estrés asociados a bajos niveles de recuperación indican un perfil de estrés – recuperación negativo, el cual ocurre cuando el proceso de recuperación no es suficiente para la cantidad de estrés psicofísico generado por el entrenamiento y la competencia, se activa un círculo vicioso negativo para el deportista y el equilibrio se rompe, haciendo que el deportista experimente incrementos en sus niveles de estrés sin que paralelamente se den los procesos de recuperación requeridos. (Molinero, Salguero y Márquez, 2011).



A: perfil estrés – recuperación positivo

B: perfil estrés – recuperación negativo

Figura 1. Diagrama de explicación del perfil estrés recuperación.

De lo anterior, es importante destacar que la exposición crónica a un perfil de estrés-recuperación negativo, se relaciona con cuadros de sobreentrenamiento (González-Boto, et

al., 2009; Kallus y Kellmann, 2000; Valcarce, 2011), lo anterior dado que este modelo se fundamenta en la hipótesis de que el nivel de sobreentrenamiento es el resultado de la acumulación de estrés en diferentes áreas de la vida del deportista (Kellmann y Kallus, 2001). Para evitar esto, se hace necesario el entrenamiento del atleta en el uso de estrategias de recuperación que permitan afrontar el estrés psicofísico que genera el entrenamiento y la competencia deportiva en forma adaptativa (Kellmann y Kallus, 2001), dentro de estas formas adaptativas destacan el afrontamiento orientado a la tarea y afrontamiento orientado a la emoción o a la distracción (Márquez, 2006).

Sobre la base de este modelo (RESTQ-SPORT), se ha realizado varios estudios, por ejemplo el de González-Boto et al. (2009), quienes a partir de una muestra compuesta por 194 deportistas de 32 disciplinas deportivas (102 hombres y 92 mujeres), con una edad promedio de 21 ± 2 años, reportaron como resultado un perfil estrés-recuperación positivo en la muestra analizada, es decir, las puntuaciones promedio de recuperación total fueron más altas que las puntuaciones promedio del estrés total.

En esta misma línea, en un estudio realizado por Molinero, Salguero, y Márquez (2011), con 141 sujetos de ambos sexos, se reportó un perfil estrés-recuperación positivo en la muestra. Por su parte, Molinero, Salguero, y Márquez (2012), en otro estudio con 167 deportistas españoles de ambos sexos, con una media de edad de 21 ± 2.39 años, reportaron en tres diferentes momentos de la temporada perfiles de estrés-recuperación positivos en la muestra estudiada.

Un estudio similar fue realizado por Valcarce (2011), con una muestra de 46 sujetos con una media de edad de 24.39 ± 0.72 años, de los cuales 26 practicaban deportes colectivos y 20 de ellos lo hacían en deportes individuales, registrando un perfil general de estrés recuperación positivo.

Indicadores psicológicos de recuperación poscompetencia

Dentro de las variables psicológicas utilizadas como indicadores de recuperación posterior a la fatiga en estudios relacionados al uso de inmersiones en agua fría como método de recuperación encontramos: la percepción del dolor muscular de aparición tardía (DOMS por sus siglas en inglés) y la percepción del nivel recuperación. Para cada una de

ellas se procede a dar su definición y el aporte de la evidencia empírica sobre su uso en estudios similares.

La sensación el dolor muscular de aparición tardía (Delayed onset muscle soreness) (DOMS).

La primera descripción detallada de dolor muscular de aparición tardía fue dada por primera vez en 1902 por Theodore Hough (Burges y Lambert, 2010; Vanshika, 2012), se define como la sanción de dolor, rigidez y de incomodidad experimentado por el atleta aproximadamente desde las ocho horas hasta las 72 horas después del ejercicio, siendo sus picos máximos a las 24 y 48 horas. Por su parte, Vanshika (2012), indica que la gravedad y distribución del dolor están asociados con la intensidad, duración y tipo de ejercicio realizado. Sin embargo, es el resultado principalmente de las micro rupturas sufridas en la unión musculotendinosa y en la fibra muscular propiamente dicha, producto principalmente de la fase excéntrica de la contracción muscular, esto genera una respuesta inflamatoria lo que se traduce en esta sensación de dolor e inflamación. Esta sensación no es considerada ni una enfermedad ni un trastorno, pero sí es un fenómeno que reduce la capacidad de movimiento y limita el rendimiento motor e incrementa el volumen del segmento muscular dañado, por lo que es un tema de interés para los profesionales involucrados en el deporte de rendimiento (Burges y Lambert, 2010; Vanshika, 2012).

Vanshika, (2012), indica que el DOMS, puede ser medido de varias formas entre las que destacan: la goniometría para medir los cambios en el rango articular de movimiento, la medición de las circunferencias de los segmentos principalmente extremidades, esto se utiliza para evaluar la inflamación y el edema intramuscular provocado a nivel de los sarcómeros por el acúmulo de proteínas para la resíntesis y reparación del daño muscular lo que a su vez ejerce un aumento en la presión osmótica de la zona. También se utilizan indicadores bioquímicos de daño muscular como la creatina quinasa (CK) y a nivel psicológico el DOMS se suele evaluar por medio de la Escala Visual Analógica para la percepción el dolor (VAS-PAIN por sus siglas en inglés).

Distintos estudios han utilizado este último instrumento como indicador de recuperación en investigaciones relacionadas al uso de las inmersiones en agua fría como estrategia para mitigar la fatiga (Bailey, Erith, Griffin, Dawson, Brewer, Grant, y Williams, 2007;

Delextrac et al, 2012; Ingram, et al., 2009; Minnett, Duffield, Bullaut, Cannon, Portus, y Marino, 2014; Pointon, Duffield, Cannon, y Marino, 2011; Rowsell, Coutts, Raeburn, y Hill-Haas, 2011).

En un estudio realizado por Bailey et al. (2007), con 20 sujetos masculinos, asignados aleatoriamente a un grupo control (recuperación pasiva) y otro grupo experimental (10 minutos de inmersión bajo la modalidad continua a una temperatura de 10°C), se registró la percepción del dolor muscular a primera hora y a las 24, 48 y 168 horas después de realizar ejercicio intermitente durante 90 minutos, con base en la ejecución del “Loughborough Intermittent Test” (LIST) desarrollado por (Thompson, Nicholas y Williams, 1999), este es un test de campo especialmente diseñado para replicar las demandas asociadas con actividades intermitentes como el fútbol. Los resultados de este estudio indicaron que la percepción del dolor muscular disminuyó significativamente en la primera hora y a las 24 y 48 horas posejercicio en el grupo que fue sometido al proceso de inmersión con respecto al grupo control.

Por su parte Delextrat et al. (2012), realizaron un estudio donde compararon el efecto de las inmersiones intermitentes (5 series de 2 min en inmersión a 11 ± 0.7 °C y 2 minutos fuera sentados a una temperatura de 20 °C) para un total de 10 minutos de inmersión, con un grupo que recibió masaje como método de recuperación y un grupo control (sentado en un cuarto a 20 °C), después de haber realizado juegos de baloncesto (media de tiempo jugado de 31.1 ± 5.3 minutos) este estudio se realizó con 16 jugadores de baloncesto (8 hombres y 8 mujeres) con edad promedio de 23 ± 3 años para los hombres y de 22 ± 2 años en el caso de las mujeres). Los resultados evidenciaron que la percepción del dolor muscular a nivel de las piernas, fue significativamente menor en el grupo de inmersiones tanto en la medición inmediata al protocolo de inmersión como a las 24 horas postratamiento, con respecto al grupo control. También esas disminuciones en el dolor muscular fueron significativas con respecto al dolor percibido inmediatamente terminados los juegos.

En cuanto a la comparación del grupo de inmersiones con respecto al grupo de masaje, se registró que el dolor muscular fue significativamente menor en el grupo de inmersiones en la medición realizada inmediatamente después del tratamiento, no así en la medición a las 24 horas después. Finalmente, al comparar los grupos en los momentos de medición en

función del sexo, se registró una interacción significativa, evidenciándose una disminución en el dolor muscular percibido a las 24 horas con respecto al percibido inmediatamente después del protocolo de recuperación, únicamente en el caso de las mujeres, indistintamente del tratamiento de recuperación empleado.

En un estudio realizado con 13 jóvenes jugadores de fútbol, con una edad promedio de 15.9 ± 0.6 años, Rowsell et al. (2011), analizaron el efecto de dos protocolos de inmersión: uno en agua fría (5 ciclos de un dentro del agua a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y un minuto fuera del agua a $24\text{ }^{\circ}\text{C}$) y otro grupo de inmersiones en agua termo neutral (5 ciclos de un dentro del agua a $34\text{ }^{\circ}\text{C}$ y un minuto fuera del agua a $24\text{ }^{\circ}\text{C}$), sobre indicadores de recuperación jugando cuatro juegos dentro de un torneo. En lo referente a la percepción del dolor muscular los resultados obtenidos en este estudio indican que la misma fue menor en el grupo de inmersiones en agua fría, los sujetos de este grupo comparados con el grupo inmersiones termo neutrales presentaron rendimiento físico significativamente mayor en los siguientes juegos en cuanto a la distancia recorrida en el tercer y cuarto juego.

Por su parte Ingram et al. (2009), encontraron efectos positivos en cuanto a la percepción del DOMS después de haber sometido a sus sujetos de estudio a un protocolo de inmersión en agua fría intermitente (dos bloques de 5 minutos dentro del agua a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, con 2.5 minutos fuera del agua a $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre cada bloque) con respecto al grupo que no recibió este tratamiento (grupo control) identificando diferencias significativas tanto a las 24 como a las 48 horas postratamiento.

En esta misma línea de estudios, Pointon, Duffield, Cannon, y Marino (2011), reportaron disminuciones significativas en la percepción del dolor muscular en un grupo de deportistas que recibió inmersiones en agua fría como método de recuperación (9 minutos dentro del agua con un minuto fuera de ella repitiendo esto dos veces para un total de 20 minutos) con el agua a $8.9 \pm 0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, con respecto a un grupo control, estas disminuciones fueron registradas a las 24 horas postratamiento.

En otro estudio más reciente realizado con nueve sujetos entrenados Minnett et al. (2014), registraron diferencias estadísticamente significativas con respecto al grupo control después de someterse a un protocolo de 20 minutos de inmersión a $10 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$, en todas las

comparaciones realizadas después del tratamiento las cuales fueron inmediatamente después del protocolo de recuperación, a una hora y a 24 horas posinmersión.

En cuanto a evidencia meta analítica se refiere, cabe mencionar que Leeder et al. (2012) y Sánchez-Ureña et al. (2015), reportan que las inmersiones en agua fría como método de recuperación presentan tamaños del efecto moderados (g de Hedges = .52 [.38, .66] y .53 [.20, .85]) respectivamente en cuanto a la disminución de la sensación de dolor muscular.

En contraparte, también existen estudios recientes en los cuales no se registran efectos significativos producto del uso de las inmersiones en agua fría sobre la disminución del DOMS (Brophy-Williams, Lander, y Wallman, 2011; Corbett, Barwood, Lunt, Milner, y Tipton, 2011), destacando como característica principal del protocolo de inmersión utilizado en ambos estudios, la posición fue de pie con el agua a nivel de la altura media del esternón, siendo la inmersión de 15 minutos a 15 °C el utilizado por Brophy et al. (2012) y de 12 minutos a 12 °C el empleado por Corbett et al. (2011).

Percepción del nivel de recuperación

Como parte de los elementos centrales a nivel perceptivo que se evalúan en los procesos de recuperación está la percepción del nivel de recuperación (Halson, 2014), la cual es uno de los aspectos centrales de todo proceso de recuperación si este se entiende como un fenómeno psicofisiológico (Kenttä y Hassmén, 1998). Entendiendo la percepción de recuperación, como la manifestación subjetiva en cuanto a su sensación de cese de la fatiga o sus manifestaciones después de someterse a un protocolo de ejercicio y pese a que la recuperación debe entenderse como un proceso integral donde los aspectos psicofisiológicos se dan en forma paralela, muchos estudios se han abocado a evaluar en términos psicológicos perceptivos la variable del DOMS como se evidenció en el apartado anterior. Sin embargo, la percepción del nivel de recuperación o la percepción del nivel de fatiga ha sido analizada solo en pocos estudios donde las inmersiones en agua fría se emplean como método para acelerar los procesos de recuperación (Brophy et al., 2012; Nardi, LaTorre, Barassi, Ricci, y Banfi, 2011; Stanley et al., 2012). En general se reporta que las inmersiones en agua fría contribuyen al proceso de recuperación, específicamente al aumentar la sensación del nivel de recuperación o bien disminuyendo la percepción del nivel de fatiga (Delextrat et al., 2012, Nardi et al., 2011; Rowsell et al., 2011).

Brophy et al. (2012), estudiaron a ocho sujetos bien entrenados, bajo un diseño cruzado y contrabalanceado, reportaron que los sujetos después de ser sometidos a la condición experimental (inmersión de 15 minutos a 15°C), presentaron niveles de recuperación percibida mayores y estadísticamente significativos que cuando estuvieron en condición de grupo control, siendo su percepción de recuperación de 15.2 ± 2 en condición experimental y de 12.6 ± 1.7 en la condición control, donde 15 equivale a una percepción de bien recuperado y 12 a mal recuperado, estos datos fueron registrados en el contraste realizado a las 24 horas postratamiento.

Por su parte Stanley et al. (2012), utilizaron un protocolo de inmersión en agua fría de 5 minutos de duración a una temperatura de $14.2 \pm 0.6^\circ\text{C}$, con 18 ciclistas, reportando tamaños del efecto por d de Cohen = 0.30 para el nivel de recuperación física percibida y de d de Cohen = 0.70 para la percepción de fatiga, en este caso se registró una disminución significativa utilizando un intervalo de confianza del 90%.

En cuanto a la disminución de la percepción de fatiga, Delextrat et al. (2012), reportaron disminuciones significativas en el nivel de percepción de fatiga experimentado por los sujetos que recibieron inmersiones en agua fría en comparación con el grupo control, tanto en la medición inmediatamente después del protocolo de recuperación como a las 24 horas posterior al tratamiento.

En esta misma línea, Rowsell et al. (2011), sometieron a un grupo de sujetos a un protocolo de inmersión de un minuto dentro del agua a $10 \pm 0.5^\circ\text{C}$ y un minuto fuera del agua a 24°C durante cinco ciclos para un total de 10 minutos de protocolo intermitente, esto después de cada uno de los juegos durante cuatro días de juegos consecutivos de fútbol, reportaron que la sensación de fatiga disminuyó de manera significativa en quienes fueron asignados al grupo experimental con respecto al grupo control, siendo la condición control, inmersiones bajo el mismo protocolo pero en agua a temperatura termo neutral $34 \pm 0.5^\circ\text{C}$.

Así mismo, Nardi et al. (2011), reportaron diferencias significativas en la percepción de fatiga inmediatamente terminado el protocolo de recuperación, lo anterior al comparar un protocolo de inmersión en agua fría (8 minutos a $15 \pm 0.5^\circ\text{C}$), un protocolo de inmersiones en contraste frío/termo neutral (2 x 2min frío [$15 \pm 0.5^\circ\text{C}$]- 2 min termo neutral [28°C]) y un grupo control en recuperación pasiva (8 minutos).

Aspectos fisiológicos asociados a la recuperación de la fatiga

Como se indicó anteriormente, para poder establecer un protocolo apropiado de recuperación es necesario conocer el tipo de fatiga que se desea contrarrestar en pro de acelerar la recuperación del deportista, para ello es fundamental conocer la dinámica de la fatiga (Terrados y Calleja-González, 2010).

Fatiga

Por fatiga se entiende la serie de procesos psicofisiológicos que generan una disminución en la capacidad del organismo para mantener o producir la contracción muscular al nivel que lo demanda la intensidad del ejercicio que se esté realizando, es decir es la incapacidad de continuar realizando el ejercicio principalmente por el agotamiento de fuentes energéticas implicada según el tipo de ejercicio (Taylor, Amann, Duchateau, Meeusen, y Rice, 2016). Otros autores se refieren a la fatiga como una disminución o fallo en los procesos de generación de fuerza o potencia (Millet y Lepers, 2004), o el producto de una serie de factores que aumentan la percepción o sensación de cansancio (Kayser, 2003).

Sin embargo, es importante señalar que esto es un fenómeno de origen homeostático propio y natural del proceso de entrenamiento deportivo, de manera que la adecuada administración de la fatiga y los periodos para su respectiva recuperación (súper compensación) es lo que permite el aumento de las capacidades físicas y la mejora del rendimiento deportivo (Terrados y Calleja-González 2010). Estos autores, indican además que las manifestaciones de la fatiga están en estrecha relación con aspectos como: el nivel de entrenamiento del deportista, las características del ejercicio que se esté realizando (intensidad, volumen y duración), así como la naturaleza del ejercicio sea este continuo o intermitente y de la vía energética que se esté utilizando.

Con base en lo anterior Terrados y Calleja-González (2010), señalan que conocer los mecanismos productores de la fatiga es fundamental para así establecer los procesos de entrenamiento de una manera bien planificada, pero también esto permite generar y desarrollar los procesos o estrategias de recuperación más pertinentes en función del tipo y mecanismo causante de fatiga.

Tipos de fatiga

Fatiga del Sistema Nervioso Central

Plowman y Smith, (2014), indican que la fatiga del sistema nervioso central (SNC) se produce en estructuras como neuronas aferentes y médula espinal, debido a procesos inhibitorios en la aferencia o alteraciones en las neuronas motoras (Taylor et al., 2016). Al respecto Nybo y Nielsen (2001), indican que la fatiga del SNC es la responsable de la alteración en neurotransmisores (relación serotonina - dopamina), los cuales están asociados con la reducción en el reclutamiento de moto neuronas y la sensación de cansancio. Taylor, Todd y Gandevia (2006), señalan que a consecuencia de la fatiga del SNC se genera la disminución tanto de la frecuencia como de la intensidad con que el impulso nervioso llega al músculo, limitando así la capacidad de producir fuerza mediante la activación voluntaria.

Fatiga del Sistema Nervioso Periférico

La fatiga periférica es la que se presenta principalmente a nivel del sistema muscular, se caracteriza por el cese o la incapacidad de generar la contracción muscular con la frecuencia e intensidad necesaria para satisfacer las demandas propias de la actividad o ejercicio que se esté ejecutando (Terrados y Calleja-González, 2010). Esta puede ocurrir por alteraciones de la conexión neuromuscular, fallas en la transmisión nerviosa, depleción de neurotransmisores, dificultades en los receptores en la placa motora, alteraciones en la excitación del sarcolema y túbulos T, disminución de iones de calcio liberado por el retículo sarcoplasmático, interferencias con la captación del calcio por la troponina, sin dejar de lado la depleción de las fuentes energéticas y la acumulación de metabolitos de desecho, como por ejemplo iones de hidrógeno (H^+), que generan un aumento en la acidez muscular (Plowman y Smith, 2014).

Principales causas de la fatiga

Dentro de las principales causas de la fatigas se encuentran: depleción de substratos energéticos, alteraciones hidroelectrolíticas, modificaciones en los aminoácidos ramificados, acumulación de radicales libres, afecciones en el sistema inmune, acumulación de metabolitos de desecho, el incremento de la temperatura central (hipertermia) y daño

muscular inducido por ejercicio, dado que las inmersiones en agua fría como método de recuperación están dirigidos a contrarrestar los tres últimos mecanismos, se procede a hacer un mayor detalle de las mismas (Terrados y Calleja-González, 2010).

Acumulación de metabolitos de desecho

La acumulación de metabolitos de desecho se produce mayormente cuando se somete al organismo a realizar ejercicios de corta duración y alta intensidad, demandando así la vía energética de la glucólisis anaeróbica, en este caso estamos ante la presencia de la acumulación de metabolitos tales como el lactato y de iones de hidrógeno (H^+) dentro del músculo. Esto ocurre cuando el ácido láctico no es eliminado, por lo que este se disocia convirtiéndose en lactato y produciendo acumulación de iones de hidrógeno (H^+), esto ocasiona un aumento en la acidez muscular conocida como acidosis. Siendo esta acidez la responsable de la disminución en la producción de energía y por ende del agotamiento muscular. Para que esto no ocurra el cuerpo humano cuenta con mecanismos propios encargados de la neutralización de esta acidez, entre estos mecanismos está el bicarbonato (HCO_3), el cual impide que el pH alcance condiciones tales que las células puedan morir. En este punto es importante señalar que el pH muscular en reposo es de 7.1, y que con tan solo bajar a niveles de 6.9 se inhibe la acción de la fosfofructuosa, enzima que regula la producción de energía por la vía glucolítica. A esto debe sumarse que los H^+ interfieren con la captación de calcio dentro de las fibras musculares lo que limita la unión de los puentes cruzados de actina y miosina, generando una menor intensidad en la contracción y por ende disminuyendo la fuerza (Wilmore y Costill, 2007).

Ihsan et al. (2016), plantean que el efecto de las inmersiones en agua fría en la movilización de los metabolitos de desecho no se da directamente producto de las alteraciones o cambios en su metabolismo, sino que esto ocurre por acción colateral de otros procesos como lo son: la vasoconstricción cutánea y la presión hidrostática, dado que ambas generan una mayor movilización del flujo sanguíneo desde la periferia a la circulación central, lo que contribuye en la remoción de los metabolitos de desecho y al incrementando del proceso de la hemodilución mediante el cual se dan cambios en los fluidos intersticiales en los espacios intravasculares (Stocks, Patterson, Hyde, Jenkins, Mittleman, y Taylor, 2004).

Hipertermia

Como producto de la generación de energía mediante las distintas fuentes y vías energéticas el cuerpo tiende a acumular calor, cuando este es mayor al ambiental el cuerpo utiliza mecanismos de termorregulación (convección, conducción, radiación y evaporación) para transferir este calor al ambiente (Wilmore y Costill, 2007), siendo este último el que mayormente contribuye a la pérdida de calor corporal, dado que por esta vía se disipa el 80% del calor corporal durante el ejercicio, contribuyendo con ello a disminuir la temperatura corporal interna, indicando de esta manera que cuando esta se encuentra por arriba de los 38 °C se comienzan a presentar las manifestaciones de fatiga (Terrados y Calleja-González, 2010, Wilmore y Costill, 2007). Las inmersiones en agua fría se recomiendan como método de recuperación de la fatiga, por cuanto contribuyen a la rápida disminución de la temperatura corporal, lo anterior debido a que la pérdida de calor corporal por medio de convección es 25 veces mayor en el agua que en el aire y por medio de la convección dado que las partículas son barridas de la superficie corporal por el líquido (Wakabayashi, Kaneda, Santo, Tochihara, y Nomura, 2008).

Daño muscular inducido por ejercicio

El daño muscular inducido por ejercicio se define como la interacción compleja de una serie de adaptaciones centrales y periféricas que involucran mecanismos celulares, mecánicos y neurales, dicha interacción es la responsable de las disminuciones en la respuesta muscular (Burges y Lambert, 2010). Este fenómeno y sus manifestaciones puede ser evaluado de distintas formas, las cuales van desde indicadores directos como la medición de la concentración de Creatina Fosfoquinasa (CPK por sus siglas en inglés) en plasma, la evaluación de la máxima contracción voluntaria (MCV) hasta la manifestación subjetiva del dolor percibido (Bieuzen 2013). En este último punto por la factibilidad de su medición, es que el DOMS es por excelencia la manifestación que mejor caracteriza este proceso, el cual se define como la sanción de dolor, rigidez y de incomodidad experimentado por el atleta aproximadamente desde las 8 horas hasta las 72 horas después del ejercicio, siendo sus picos máximos a las 24 y 48 horas (Burges y Lambert, (2010; Vanshika, 2012). Además, Vanshika (2012), indica que la gravedad y distribución del dolor están asociados con la intensidad, duración y tipo de ejercicio realizado, sin embargo, es el

resultado principalmente de las micro rupturas sufridas en la unión musculotendinosa y en la fibra muscular propiamente dicha producto principalmente de la fase excéntrica de la contracción muscular.

De acuerdo con Byrne, Twist y Eston (2004) y Cheung Hume y Maxwell (2003), existen tres teorías que combinadas podían ser la causa de este fenómeno: trauma mecánico, daño muscular e inflamación. Estos mismos autores sugieren la siguiente secuencia en los eventos que producen el DOMS: primeramente durante esfuerzos intensos a los cuales no se está adaptado, y aún más con el elemento excéntrico incluido (Burges y Lambert, 2010; Vanshika, 2012), lo que provoca una interrupción de proteínas estructurales en las fibras musculares, especialmente en las líneas Z de los sarcómeros, sin olvidar que de manera paralela ocurre el daño en el tejido conectivo de las uniones músculo tendinoso (Byrne, Twist y Eston, 2004; Cheung, Hume, y Maxwell 2003).

En segundo orden, se produce un daño en el sarcolema, el cual genera una acumulación de Ca^{2+} , causando la inhibición en la producción de adenosín trifosfato (ATP) y causa una pérdida de la homeostasis ya que el ATP es necesario para que el calcio regrese a su lugar de almacenamiento, este aumento en la cantidad de calcio provoca degradación de las líneas Z (alteración del cito esqueleto del sarcómero), troponina y tropomiosina que lleva posteriormente a una muerte de tejido (Byrne, Twist, y Eston, 2004; Cheung, Hume, y Maxwell 2003).

Finalmente, el daño estructural provoca procesos inflamatorios y activación del sistema inmune, el líquido o fluido se traslada al músculo y causan el edema, el cual genera un aumento en la presión de las estructuras musculares y conectivas en las uniones músculo tendinosas, estimulando los receptores de dolor en las terminaciones nerviosas. (Byrne, Twist, y Eston, 2004; Cheung et al, 2003).

El mecanismo fisiológico por el cual las inmersiones en agua fría podrían contribuir a mitigar las manifestaciones del DOMS se centra en la interacción de los factores: presión hidrostática, la vasoconstricción, la redistribución sanguínea y la disminución de la temperatura muscular, en su conjunto promueven la disminución de la inflamación y generan un efecto analgésico, la interacción de dichos factores será aplicada y detallada más adelante en el apartado de los mecanismos fisiológicos que explican el uso de las inmersiones como método de recuperación.

Inmersión en agua como estrategia de recuperación posejercicio

Las inmersiones en agua como estrategia de recuperación han tenido un fuerte crecimiento en los últimos años, principalmente las inmersiones en agua fría (Ihsan et al., 2016 Versey et al., 2013), no obstante es importante señalar la existencia de cuatro modalidades de inmersiones en agua, a saber: inmersiones en agua fría, inmersiones en agua termo neutral, inmersiones en agua caliente e inmersiones de contraste frío/calor (Bieuzen, Bleakley, y Costello, 2013b, Versey et al., 2013).

En la literatura se reportan dos diferentes posiciones en cuanto al rango de temperatura para clasificar la inmersión, Bieuzen et al. (2013b), indican que las inmersiones en agua fría utilizan temperatura menor a 15°C, las inmersiones en agua termo neutral la temperatura oscila entre los 15°C y 36°C, las inmersiones en agua caliente son aquellas en que el agua tiene temperaturas mayores 36°C.

Por su parte Versey et al. (2013), coinciden en que el punto de corte entre las inmersiones en agua termo neutral y caliente es de 36°C, pero discrepan en la temperatura corte entre las inmersiones en agua fría y termo neutrales, ya que indican que las inmersiones en agua fría son aquellas en que el agua está por debajo de los 20°C y no de los 15°C como lo indican (Bieuzen et al., 2013). Por tanto existen tres rangos de temperatura (entre 5°C a 15° = agua fría, entre 15°C y 36°C = termo neutral y mayores a 36.°C = caliente), que permitirían cuatro modalidades de inmersión: fría, termo neutral, caliente e inmersiones de contraste frío/calor.

Tipos de inmersiones

Inmersiones en agua termo neutral

Conocidas como (TWI por sus siglas en inglés,) son aquellas inmersiones en que se utilizan temperaturas del agua entre los 20°C a 36°C, estas son empleadas con el objetivo estudiar los efectos propios de la presión hidrostática sobre la recuperación (Bieuzen, Bleakley, Costello, 2013). También este rango de temperatura ha sido estudiado para ver efectos sobre la recuperación, siendo el rango del tiempo de inmersión utilizado en estos estudios entre 15 a 30 minutos (Cortis, Tessitore, D'Artibale, Meeusen, y Caprani, 2010;

Dawson, Gow, Modra, Bishops, y Sterwart, 2005; Takahashi, Ishihara, y Aoki 2006; Tessitore, Meeusen, Cortis, y Caprini, 2007; Tessitore et al., 2008).

Inmersiones en agua caliente

Tipificadas como (HWI por sus siglas en inglés), son aquellas en que la temperatura del agua es superior a las 36°C, se han utilizado tiempos de inmersión entre los 10 y 24 minutos (Versey et al., 2013). Pocos estudios han investigado los efectos de las HWI sobre la recuperación (Kuligowsky et al., 1998; Pournot et al., 2011;Vaile et al., 2007;Vaile et al., 2008b; Viisalo et al., 1997), en ninguno de ellos los resultado han indicado que las HWI tengan efectos positivos sobre la recuperación de la fatiga posterior al entrenamiento y la competencia.

Las inmersiones de contraste frío/ calor

Comúnmente conocidas como (CWT por sus siglas en inglés), consisten en la combinación de las inmersiones en agua fría y agua caliente (Versey et al., 2013). En la literatura se reportan varios protocolos en lo correspondiente a la relación de tiempo frío/calor, es decir la proporción en términos relativos 1:1, 2:1, 3:1 etc., donde se pueden ejercitar por ejemplo un minuto de inmersión en agua fría y uno minuto en agua caliente, y otras combinaciones. (Elias, Wyckelsma, Varley, McKenna, y Aughey, 2013; Ingram, Dawson, Goodman, Wallman, y Beilby, 2009; Kuligowski et al., 1998, Robey, Dawson, Goodman, y Beilby, 2009; Pournot et al., 2011, Vaile, Gill, y Blazeovich, 2007).

Las inmersiones en agua fría

Conocidas como (CWI), por sus siglas en inglés se caracterizan por el uso de temperaturas entre los 5 y 20 °C, con un tiempo de inmersión entre los 5 y 15 minutos. En cuanto a la modalidad se reportan inmersiones en agua fría de manera continua e inmersiones (Versey et al., 2013). Por ser esta el tipo de inmersión estudiada en el presente trabajo, se procede a continuación a ampliar detalles de los efectos reportados en la literatura científica sobre los distintos indicadores fisiológicos de recuperación considerados como variables dependientes en esta investigación, lo anterior en función del tipo de protocolo utilizado sea este continuo o intermitente.

Indicadores fisiológicos de recuperación posejercicio

Dentro de las variables fisiológicas mayormente utilizadas como indicadores de recuperación de la fatiga en estudios referentes al uso de inmersiones en agua fría como método de recuperación están: la temperatura corporal y de la piel, la función neuromuscular, el volumen y edema muscular como indicador de edema e inflamación, indicadores bioquímicos como las concentraciones séricas de LDH y CPK.

Temperatura corporal y de la piel

Debe tenerse claro que los seres humanos estamos clasificados como seres homeotérmicos, es decir, que nuestra temperatura interna corporal se mantiene estable a lo largo de la vida, siendo únicamente aspectos como la realización de ejercicio prolongado y la presencia de una enfermedad los que pueden hacer que la temperatura corporal se salga del rango normal de 36.1 a 37.8 °C, siendo el valor promedio de 37°C. Sin embargo, cuando el organismo no es capaz de disipar el calor a la misma velocidad que lo produce, la temperatura corporal puede llegar hasta los 40°C y la muscular a 42°C, en este punto de los 40°C, donde el esfuerzo del organismo por perder calor debe ser aún mayor y suele presentar situaciones que afectan tanto la salud como el rendimiento (Ihsan, Waston y Abbiss, 2016).

Cambios en la temperatura corporal están asociados a alteraciones en la homeostasis, en el caso particular del daño muscular, es producto principalmente de las micro rupturas sufridas en la unión musculotendinosa y en la fibra muscular propiamente dicha fundamentalmente durante la fase excéntrica de la contracción muscular (Vanshika (2012), estas micro rupturas provocan procesos inflamatorios dado que el líquido o fluido se traslada al músculo y causan el edema, el cual genera un aumento en la presión de las estructuras musculares y conectivas en las uniones músculo tendinosas, estos procesos inflamatorios tienen como respuesta un aumento de la temperatura a nivel muscular, lo cual podría ser reflejado en un aumento de la temperatura corporal superficial.

Dado lo anterior, el estudio de la relación entre el enfriamiento corporal y el rendimiento deportivo ha sido de interés para los investigadores (Yeargin et al., 2006). Dentro de los métodos y medios más utilizados para lograr este enfriamiento y disminución de la temperatura corporal están las inmersiones en agua fría, las cuales tienen como objetivo

contribuir a la disminución de la temperatura corporal (TC) y de la piel (TP), puesto que la exposición a largos periodos de hipertermia (HT) se asocian con la disminución del rendimiento muscular tanto durante la ejecución del ejercicio que generó la HT, como en sesiones posteriores de ejercicio, puesto que se afecta procesos propios de la recuperación postejercicio como los son el metabolismo de los carbohidratos, la acumulación de flujo sanguíneo en la periferia, la entrada de oxígeno y nutrientes a las células musculares dañadas (Peiffer et al., 2009b, Yeargin et al., 2006).

Bajo este supuesto, distintos autores han estudiado el efecto de las inmersiones en agua fría sobre la disminución de la temperatura corporal y de la piel. Peiffer et al. (2009a) realizaron un estudio con 12 ciclistas, y analizaron la respuesta en la temperatura rectal y temperatura muscular, después de someterse a tres distintos protocolos de inmersión en agua fría, en este caso protocolos continuos de 5, 10 y 20 minutos de duración con el agua a una temperatura de $14.3 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$, siendo la inmersión sentados y con el agua a la altura media del esternón, como condición control se mantuvo al grupo de ciclistas sentados en una habitación a temperatura de 24°C . En cuanto a la temperatura rectal, solo se reportó diferencias significativas, a los 75 y 80 minutos posterior al ejercicio entre el grupo control y todos los grupos de inmersión, pero no entre ellos. En el caso de la temperatura muscular, el estudio reportó que la misma era significativamente menor en cada uno de los grupos experimentales con respecto al grupo control al finalizar cada uno de los protocolos (5, 10 y 20 minutos). Además, que la misma era cada vez significativamente menor en relación con la duración de la inmersión, es decir, que la temperatura muscular fue más baja en el grupo de 20 minutos de inmersión con respecto al grupo de 10 y 5 min de inmersión, y del de 10 minutos con respecto al de 5 minutos. Estos resultados indican que la temperatura rectal es menor en los grupos que reciben inmersiones como método de recuperación, de igual manera indican que la temperatura muscular desciende significativamente más rápido con inmersiones en agua fría que en una condición control y que a mayor tiempo de duración de la inmersión mayor será el cambio.

Por su parte, Peiffer et al. (2009b) estudiaron el efecto de las inmersiones en agua fría sobre la temperatura rectal y temperatura de la piel, en 10 ciclistas masculinos bien entrenados quienes realizaron 90 minutos de ejercicio al 80% del VO_2 máx., recibiendo como método de recuperación una inmersión continua durante 20 minutos a $14.3 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$

sentados con el agua hasta la altura media del esternón, en el caso de la condición control, esta consistió en estar sentado en reposo durante 20 minutos en una habitación a 24°C, los resultados de este estudio reportan disminuciones significativas tanto en la temperatura rectal como en la temperatura de la piel, las cuales fueron menores en el grupo de inmersión con respecto al grupo control desde el minuto cero hasta el 45 posterior a finalizada la inmersión tiempo máximo que se realizó el registro, indicando que las inmersiones en agua fría contribuyen positivamente en acelerar la disminución de la temperatura corporal.

En un estudio realizado por Dunne, Crampto, y Egaña (2013), se analizó entre otras variables la temperatura interna (temperatura intestinal), en nueve sujetos entrenados en deportes de resistencia, quienes realizaron dos sesiones de ejercicio submáximo hasta alcanzar la fatiga, separadas por 15 minutos donde se aplicaba un protocolo de recuperación, de 8 min de inmersión a 8 °C, 15 minutos de inmersión a 15°, en ambos casos con el agua a la altura de la cadera y 15 de recuperación pasiva (sentado en la habitación a 22±0.5°C), de este estudio se obtuvo como resultado que la temperatura interna fue significativamente menor, para ambos grupos de inmersión con respecto al grupo control durante la segunda repetición del ejercicio, en todos los puntos de medición (5, 10, 15 minutos), además que el tiempo para alcanzar la fatiga fue mayor en el grupo de 8 minutos a 8°C con respecto al grupo control, lo que indica que las inmersiones en agua fría contribuyen a disminuir la temperatura corporal, además que el rendimiento (tiempo para alcanzar la fatiga) en ejercicios subsiguientes es mayor cuando se utilizaron temperaturas del agua más bajas en periodos cortos de inmersión.

En esta misma línea de estudio Yeargin, Casa, Knight, Healey, Goss et al. (2006), analizaron la temperatura corporal y el rendimiento en una segunda sesión de ejercicio, este estudio se realizó con 15 sujetos (12 hombres y 3 mujeres) con edad promedio de 28.6±2 años, quienes realizaron 90 minutos de ejercicio, posteriormente recibieron distintos protocolos de recuperación: 12 minutos de inmersión en agua fría a 14 °C, 5 min en agua con hielo a 5°C y 12 minutos de reposo sentado en una habitación a 29.5°C, quienes después de pasados 15 minutos posinmersión debieron realizar una prueba de correr dos millas, teniendo como resultados que la temperatura corporal disminuyó significativamente en ambos grupos experimentales al finalizar el protocolo de recuperación con respecto al

grupo control, este mismo comportamiento se mantuvo al finalizar el periodo de espera (15 minutos) para realizar el test de las dos millas, donde se evidenció que el grupo de inmersiones comparado con el grupo control recorrió en un tiempo significativamente menor. No se reportó diferencias significativas entre ambos grupos de inmersión, ni entre el grupo de 5 min a 5 °C con respecto al grupo control en el tiempo de la prueba. Estos resultados confirman el efecto recuperador de las inmersiones sobre la disminución de la temperatura corporal y lo que esto contribuye en el rendimiento en sesiones de ejercicio posteriores.

En otro estudio realizado por Vailey et al. (2008b), con 12 ciclistas entrenados se comparó distintas modalidades de inmersión (fría, caliente [38°C] y contraste frío/calor [15°C/ 38°C]), donde el protocolo de inmersión en agua fría fue continuo (14 minutos a 15°C) sentados y con el agua a la altura del cuello, estos autores registraron la temperatura corporal mediante la vía rectal, reportando que el protocolo de inmersión en agua fría generó disminuciones significativas en esta variable al finalizar el protocolo de recuperación y a los 15 minutos posteriores al protocolo con respecto a los protocolos de inmersión caliente, de contraste frío/calor y el protocolo de recuperación pasiva.

Peiffer et al. (2010a) realizaron un estudio con 10 ciclistas, donde se comparó el efecto de las inmersiones en agua fría (5 minutos a 14°C) con una condición de recuperación pasiva, los sujetos realizaron la prueba de recorrer un kilómetro a máxima intensidad, luego someterse al protocolo de recuperación y posteriormente realizar de nuevo la prueba de un kilómetro, la temperatura corporal fue registrada antes y después de cada test y antes y después del protocolo de recuperación, los resultados obtenidos en este estudio reportan diferencias significativas únicamente en la temperatura muscular al finalizar la segunda repetición de la prueba, estos datos sumados al comportamiento de otras variables analizadas en dicho estudio relacionados con el rendimiento, indican que las inmersiones en agua fría contribuyen a la disminución de la temperatura muscular pero que esto no afectó la fuerza isométrica ni el rendimiento en el análisis del kilómetro.

Vailey et al. (2008a), en un estudio realizado con 10 ciclistas masculinos bien entrenados, compararon el efecto de cuatro distintos protocolos de inmersión, de los cuales tres fueron intermitentes (15 minutos en total, estando un minuto dentro del agua con la misma a la altura del cuello y dos minutos fuera del agua a temperatura ambiente de 29.2

°C), siendo el protocolo uno a 10 °C, el dos a 15 °C y el tres a 20 °C, el cuarto protocolo fue continuo (15 minutos a 20 °C) y como condición control un proceso de recuperación activa (15 minutos de pedaleo continuo al 40% del $VO_{2máx}$), se encontró que el comportamiento de la temperatura corporal, reportando que esta disminuyó significativamente en la medición inmediata en los cuatro protocolos de inmersión y a los 40 minutos posteriores al protocolo con respecto al grupo control, también reportaron diferencias significativas entre los cuatro protocolos de inmersión, donde el protocolo intermitente a 10°C, generó las mayores disminuciones de la temperatura corporal, concluyendo que todos los protocolos de inmersión disminuyen la temperatura corporal tanto de manera inmediata como a los 40 minutos posteriores con respecto a un proceso de recuperación activa, y que el porcentaje de disminución está directamente asociado con la temperatura del agua, no siendo la modalidad de la inmersión un factor determinante en el comportamiento de esta variable.

Función neuromuscular

Para el monitoreo de la fatiga y su recuperación Halson (2014), indica que la función neuromuscular puede evaluarse mediante una serie de pruebas que van desde la máxima contracción voluntaria realizada en una prueba de fuerza isométrica mediante un dinamómetro, hasta pruebas de velocidad, salto en contramovimiento o cualquier otro test que exprese aspectos como la fuerza máxima, el tiempo de vuelo, el tiempo de contacto, la velocidad de ejecución, propiedades contráctiles, entre otros. La aplicación de estos exámenes se basa en aspectos como su simple aplicación y que estas evaluaciones no implican una fatiga adicional al deportista.

Bajo este criterio, en el presente estudio la función neuromuscular fue evaluada mediante el salto en contramovimiento y la función muscular evaluada mediante la tensiomiografía, específicamente el tiempo de contracción y el desplazamiento radial muscular, para cada una de estas variables se procede explicar y aportar evidencia empírica relacionada al tema de la recuperación muscular.

Salto en contramovimiento (CMJ)

El salto en contramovimiento, es una prueba en donde la acción de salto se da gracias al ciclo estiramiento-acortamiento, se emplea para valorar el uso de la fuerza explosiva (con reutilización de energía elástica y aprovechamiento del reflejo miotático), se caracteriza por

la ejecución de una contracción concéntrica precedida de una breve fase de contracción excéntrica necesaria para la inversión del movimiento (Bosco, 1994).

Dada su fácil aplicación en cuanto al protocolo, el equipo necesario y la rapidez de su evaluación, distintos autores lo han utilizado como medio de evaluación de la función neuromuscular en experimentos relacionados con las inmersiones en agua fría como método de recuperación (Ascensao et al., 2011; Montgomery et al., 2008; Rowsell et al., 2009; Pournot, et al., 2011; Vaile et al., 2008c).

Vaile et al. (2008c), en un estudio realizado con 38 sujetos masculinos entrenados en fuerza, los cuales fueron distribuidos aleatoriamente en cuatro grupos: control (recuperación pasiva durante 14 minutos), inmersiones en agua caliente (14 minutos a 38°C), inmersiones de contraste frío/calor (14 minutos en total alternando [1min a 15°C y 1 min a 30°C]), inmersiones en agua fría (14 minutos a 15°C), los sujetos recibieron como protocolo de fatiga una carga de cinco series de 10 repeticiones en prensa de piernas excéntrica con el 120% del 1RM, en cuanto a la potencia muscular expresada en vatios en el Squat Jump realizado con un ángulo de 90 grados de flexión a nivel de rodilla, reportan encontrar diferencias significativas entre el grupo de inmersiones en agua fría y el grupo control a las 48 y 72 horas posprotocolo, indicando que este protocolo favorece el proceso de recuperación. Estos datos toman mayor poder dado que Leeder et al. (2012) en su meta análisis indican que las inmersiones en agua fría tienen un tamaño del efecto global moderado ($ES=0.59$, [0.32, 0.87]), en lo que a potencia muscular se refiere, destacando que para su análisis utiliza otras manifestaciones de potencia y no solo la altura del salto.

Sánchez-Ureña et al. (2016), en un reciente estudio con 10 jóvenes jugadores de baloncesto, compararon protocolos de inmersión continuo e intermitente, reportan diferencia significativas en la altura del salto a las 24 y 48 horas, de ambos protocolos con respecto al grupo control.

No obstante, otros estudios reportan que las inmersiones en agua fría como método de recuperación no contribuye en la capacidad de salto como indicador de recuperación de la capacidad neuromuscular, por ejemplo Montgomery et al. (2008), evaluaron la altura del salto vertical en 29 jugadores de baloncesto durante tres días consecutivos de partidos, los mismos fueron aleatorizados a tres condiciones experimentales: inmersiones en agua fría (5 minutos a 11°C), uso de medias de compresión en las piernas (completas) y el consumo de

carbohidratos más estiramientos como condición control, en su análisis estos autores indican que no se evidenciaron diferencias significativas en cuanto a la altura del salto la cual se evaluó después de recibir el protocolo de recuperación inmediatamente terminados los encuentros, estos datos fueron ajustados en función del tiempo de juego, no obstante señalan que la altura del salto varió menos a lo largo del torneo en los grupos experimentales que en el grupo control.

Rowell et al. (2009), no encontraron diferencias significativas en el salto en contramovimiento al comparar un protocolo intermitente de inmersión en agua fría (5 x un minuto a 10°C dentro del agua y un minuto fuera de agua sentado en una silla a 24°C de temperatura del salón, para un total de 10 minutos) con un protocolo intermitente de inmersión en agua termo neutral bajo los mismos lineamientos pero con la temperatura del agua a 34 °C, este estudio fue realizado con 13 jóvenes jugadores de fútbol (edad de 15.9 ± 0.6 años) a lo largo de un torneo donde se disputaron cuatro juegos en cuatro días.

Estos resultados son similares a los reportados por Nardi et al. (2011), quienes reportan no haber encontrado diferencias significativas en la altura del salto CMJ, después de comparar un protocolo de inmersión en agua fría (8 minutos a $15 \pm 0.5^\circ\text{C}$), un protocolo de inmersiones en contraste frío/termo neutral (2 x 2min frío [$15 \pm 0.5^\circ\text{C}$]- 2 min termo neutral [28°C]) y un grupo control en recuperación pasiva (8 minutos), este estudio se realizó con un total de 18 jóvenes jugadores de fútbol (edad de 15.5 ± 1 años) asignados aleatoriamente a cada grupo (6 sujetos por grupo).

En esta misma línea de hallazgos Pournot et al. (2011), no encontró diferencias significativas en ninguno de los momentos de medición en la altura del CMJ al comparar distintos protocolos de inmersión: frío (15 minutos a 10°C), termo neutral (15 minutos a 36°C), caliente (15 minutos a 42°C), contraste frío/ calor (15 minutos a 10°C y 42°C a minuto y medio en cada temperatura para un total de cinco ciclos) y un grupo de recuperación pasiva 15 minutos sentados. Los datos fueron comparados en las mediciones inmediatamente terminado el protocolo de recuperación, pasada una hora y a las 24 horas posteriores al protocolo.

Por su parte, Ascensao et al. (2011) reportan diferencias significativas a las 24 horas en la altura del salto CMJ, en el grupo de inmersiones en agua fría (10 minutos a 10°C) con respecto al grupo de inmersiones termo neutrales (10 minutos a 35°C), siendo que el grupo

de inmersión en agua fría incluso saltó menos que en la medición pre, es decir tuvo efectos perjudiciales.

Un reciente estudio meta analítico realizado por Murray y Cardinale (2015), reporta un efecto y negativo de las inmersiones en agua fría sobre la capacidad de salto las 24 horas (ES = -0.30, [-0.96, 0.35]). Siempre en estudios meta analíticos, Higgins, Greene y Baker (2016), reportaron tamaños del efecto no significativos ($p=0.05$, IC: -0.004 , 0.578), en variables como el salto CMJ a las 24 horas.

Ante este panorama no queda claro el verdadero efecto de las inmersiones en agua fría sobre la capacidad de salto como indicador de la función neuromuscular; sin embargo, cabe señalar que este meta análisis hace énfasis en población adolescente.

Evaluación tensiomiográfica

Existen dispositivos tecnológicos que permiten evaluar la función muscular e indicadores de fatiga, tales como la tensiomiografía. Esta es una moderna herramienta de evaluación desarrollada en la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Ljubljana (Eslovenia), a principios de los años 1990, creada con la finalidad de evaluar la rigidez muscular en los pacientes que presentaban patologías de origen neuromuscular (Rodríguez-Matoso et al., 2010).

Por su parte García-Manso et al. (2010), indican que este método se constituye en una forma de evaluación sumamente sencilla ya que no requiere ningún esfuerzo por parte del sujeto evaluado, haciendo de esta un medio no invasivo para evaluar una serie de aspectos del funcionamiento muscular, provocados por medio de una contracción involuntaria muscular por un estímulo eléctrico. Dentro de los alcances que esta herramienta tiene, está la evaluación de la fatiga y rigidez muscular las cuales se determinaron por el comportamiento de las variables tiempo de contracción muscular y desplazamiento radial muscular (Rodríguez-Matoso et al., 2010; Tous-Fajardo et al., 2010). Benítez-Jiménez, et al. (2013), indican que tanto el tiempo de contracción muscular como el desplazamiento radial muscular, son los parámetros tensiomiográficos con mayor confiabilidad dado que alcanzaron valor de ICC de (0.92-0.93) y (0.94-0.98) respectivamente, cada uno de estos parámetros son descritos a continuación.

Tiempo de contracción muscular

El tiempo de contracción muscular (T_c): “es el tiempo que transcurre desde que finaliza el Tiempo de reacción (10% de desplazamiento radial muscular) hasta que alcanza el 90% de la deformación máxima” (García-Manso et al., 2010). Un incremento en la velocidad de contracción puede indicar una pérdida de la fuerza muscular, la cual se asocia con la presencia de fatiga (Rusu et al., 2013).

Para esta variable se aceptan valores de referencia promedio entre 28-29 ms, Rusu et al. (2013) proponen valores cercanos a los 34 ms, pero también plantean, valores específicos para cada músculo que van de 30.25 ± 3.5 ms para el bíceps crural y 30.25 ± 3.5 ms para el cuádriceps. En un estudio realizado por Rojas-Valverde, Gutiérrez-Vargas, Sánchez-Ureña, Gutiérrez-Vargas, Cruz-Fuentes y Salas-Cabrera (2015), en futbolistas profesionales costarricenses, se reportan tiempos de contracción muscular para el recto femoral de 29.95 ± 1.38 ms para la pierna dominante y 30.84 ± 5.17 ms para la pierna no dominante.

En cuanto al uso de la tensiomiografía como método de evaluación del nivel de recuperación, Rey, Lago-Peñas Lago-Ballesteros y Casáis (2012), compararon los efectos de dos métodos de recuperación (pasiva vs. activa) siendo la primera mantenerse 20 minutos en reposo y la segunda realizar 12 minutos de trote a niveles submáximos más ocho minutos de ejercicios de estiramiento, en el caso del tiempo de contracción del bíceps femoral del grupo experimental este pasó de 26.7 ± 4.7 ms en el pre a 26.2 ± 4.7 ms a las 24 horas posejercicio, para el recto femoral pasó de 28.2 ± 2.6 ms a 29.4 ± 3.3 ms, no se reportaron diferencias significativas con respecto al grupo control en la medición a las 24 horas.

Desplazamiento radial muscular

El desplazamiento radial muscular (D_m): “viene dado por el desplazamiento radial del vientre muscular expresado en milímetros (mm). Representa y evalúa la rigidez muscular (Dahmane et al., 2005; Krizaj, Simunic y Zagar, 2008). Valores bajos refieren un aumento de la rigidez muscular, mientras que valores elevados con respecto a los valores previos al ejercicio indican la falta de tono muscular o presencia de fatiga (Rodríguez-Matoso, 2013).

Existen algunos valores de referencia para cada músculo, pero los mismos deben ser considerados con prudencia dada la elevada cantidad de variables que pueden afectar la

magnitud de la deformación, así como los aspectos propios del proceso de entrenamiento en cuanto a la especialización e individualización del entrenamiento de cada deportista. Rodríguez-Ruiz et al. (2012) reportan valores en jugadores profesionales de voleibol de playa, los especialistas en defensa tienen unos valores de Dm en torno a 2 y 4 *mm*, mientras que los especialistas en bloqueo y los jugadores que alternan la posición de defensor con la de bloqueador, presentan unos valores entre 4 y 8 *mm*. En Costa Rica, en el estudio realizado por Rojas-Valverde et al. (2015), se registraron valores en el Dm del bíceps femoral de 8.42 ± 3.15 para el lado dominante y 9.49 ± 2.43 para el no dominante.

Rey et al. (2012), compararon los efectos de dos métodos de recuperación (pasiva vs. activa) siendo la primera el mantenerse 20 minutos en reposo y la segunda realizar 12 minutos de trote a niveles submáximos más 8 minutos de ejercicios de estiramiento, en el caso del desplazamiento radial muscular del bíceps femoral del grupo experimental este pasó de 5.5 ± 1.7 mm en el pre a 5.6 ± 1.7 mm a las 24 horas posejercicio, para el recto femoral pasó de 11.1 ± 3.9 mm a 11.6 ± 3.3 mm, no se registraron diferencias significativas, entre ambos métodos de recuperación.

El único estudio donde se ha utilizado la tensiomiografía como medio para determinar la recuperación de la fatiga, tras utilizar las inmersiones de agua fría como método de recuperación, fue realizado por García-Manzo et al. (2011). Estos autores analizaron el efecto agudo de las inmersiones sobre parámetros tensiomiográficos, su protocolo consistió en cuatro inmersiones de 4 minutos a 4°C, mismo en el que participaron 12 futbolistas de la segunda división española, estos autores reportan diferencias significativas en el comportamiento del desplazamiento radial muscular, el cual mostraba disminuciones significativas en las mediciones 3 y 4 posinmersión con respecto a la medición pre. Para el caso del tiempo de contracción no reportaron diferencias significativas, estos autores concluyen que las inmersiones repetidas en agua fría provocan alteraciones significativas en el estado de los músculos y su capacidad de respuesta, en particular en relación con la rigidez muscular. En este estudio se midió los efectos agudos, cabe resaltar que este trabajo es el primero en conocer los efectos crónicos a las 24 y 48 horas posinmersión sobre estos indicadores de función muscular.

Una vez analizados los aspectos propios de la función neuromuscular, se procede con el análisis de otro de los factores, sobre los cuales las inmersiones en agua fría han mostrado

contribuir en su recuperación, hablamos de la disminución del volumen muscular, el cual está asociado al proceso inflamatorio producto del edema generado por el eventual daño muscular

Volumen y edema muscular (inflamación)

En el ámbito de entrenamiento deportivo están claramente conceptualizados dos tipos de inflamación muscular a saber: la aguda y la crónica, la primera se presenta en el momento mismo y de manera inmediata a la realización de ejercicio, como respuesta al traslado de flujo sanguíneo a la zona ejercitada. La segunda es conocida como inflamación muscular de aparición tardía, la cual se asocia directamente con el daño muscular inducido por ejercicio en las estructuras vinculadas en el ejercicio previo, principalmente a nivel de las fibras musculares y las uniones músculo-tendinosas (Byrne et al., 2004; Cheung et al., 2003; Wilmore y Costill, 2007).

Dado lo anterior, el efecto de las inmersiones en agua fría sobre el proceso inflamatorio y la presencia de edema ha sido investigado por distintos autores (Eston y Peter, 1999; Goodall y Howaston, 2006; Montgomery et al., 2008; Montgomery et al., 2012; Vaile et al., 2008c), quienes han utilizado distintos métodos para su medición, los cuales van desde la identificación de parámetros como la presencia de citocinas o interleucinas antiinflamatoria, especialmente la interleucina- 6 (IL-6), hasta mediciones indirectas como el volumen muscular y la circunferencia media del músculo fatigado. Se procede a dar detalle de los principales hallazgos al respecto sobre estos indicadores en los distintos estudios supracitados.

Vaile et al. (2008c), en un estudio realizado con 38 sujetos masculinos entrenados en fuerza, cuyos protocolos de recuperación y fatiga ya fueron descritos anteriormente en el apartado de salto CMJ, no reportan diferencias significativas entre grupos en cuanto a la IL-6 se refiere, para ninguno de los momentos de medición, pero sí se reportaron diferencias significativas en la circunferencia del muslo medio entre el grupo de inmersiones con respecto al grupo control tanto a las 24, 48 y 72 horas posejercicio, evidenciando así que las inmersiones en agua fría contribuyen de manera significativa en la reducción de la formación de edema muscular.

De manera contraria otros estudios no registraron efectos significativos de las inmersiones en agua fría en indicadores de edema e inflamación. En un estudio realizado por Eston y Peter (1999), se comparó las inmersiones en agua fría (15 minutos a $15 \pm 1^\circ\text{C}$) con un protocolo de recuperación activa, dicho estudio fue realizado con 15 mujeres con edad promedio de 22 ± 2 años, después de haber sido provocado el daño muscular mediante contracciones excéntricas (8 series de 5 repeticiones con un minuto de pausa entre series), registraron el edema muscular mediante la circunferencia media del bíceps braquial, en esta variable no reportaron diferencias significativas ($p > .05$) entre ambos grupos en ninguna de las mediciones posterior al tratamiento 24, 48 y 72 horas respectivamente.

Por su parte Goodall y Howatson (2006), realizaron un estudio con 18 jóvenes masculinos los cuales fueron aleatorizados a las condiciones control (recuperación pasiva) e inmersiones en agua fría (12 minutos a $15 \pm 1^\circ\text{C}$), entre otras variables, analizan la presencia de edema la cual fue determinada mediante la medición de la circunferencia del muslo. Al respecto reportaron no observar diferencias significativas, entre grupos ni en la medición posinmediata, 24 y 48 horas, se encontró mayores disminuciones en el porcentaje de cambio respecto al pre en grupo de inmersiones a las 72 y 96 horas, pero estas no fueron significativas con respecto al grupo control.

Montgomery et al. (2012), evaluaron la circunferencia media del muslo en 29 jugadores de baloncesto durante tres días consecutivos de partidos, estos fueron aleatorizados a tres condiciones experimentales: inmersiones en agua fría (5 minutos a 11°C), uso de medias de compresión en las piernas (completas) y el consumo de carbohidratos más estiramientos como condición control, en su análisis estos autores indican que no se evidenciaron diferencias significativas en cuanto a la IL-6. Este mismo comportamiento se registró en el caso de la circunferencia del muslo medio como indicador de edema muscular. Ambas variables se evaluaron después de recibir el protocolo de recuperación inmediatamente terminados los juegos, estos datos fueron ajustados en función del tiempo de juego. No obstante, los autores señalan que la circunferencia del muslo varió menos a lo largo del torneo en el grupo de inmersiones en agua fría que en el grupo de medias de compresión y el grupo control.

Una vez abordados los elementos teóricos y aportada la evidencia empírica para cada una de las variables analizadas en el presente estudio, es importante analizar de manera

integrada los elementos teóricos sobre los cuales se argumenta fisiológicamente los mecanismos por los cuales las inmersiones en agua fría contribuyen en el proceso de la recuperación.

Mecanismos fisiológicos explicativos del uso de las inmersiones en agua fría como método de recuperación.

Los argumentos por los cuales las inmersiones en agua fría se consideran como un método de recuperación, se basan en los procesos de funcionamiento del organismo tanto a nivel nervioso, circulatorio y muscular. Estos procesos son desencadenados en primer orden por los efectos inmediatos que genera la inmersión en agua fría: la vasoconstricción y la presión hidrostática, que se acompañan casi de forma inmediata por el descenso en la temperatura de la piel y temperatura corporal (ver figura 2 en pág. 51).

Para efectos del presente apartado se procede a definir los conceptos vasoconstricción, presión hidrostática, dado que lo relacionado a la temperatura corporal y de la piel ya fue descrito anteriormente. Lo anterior debido que su definición y comprensión son de suma importancia para entender su vínculo en cada uno de los mecanismos explicativos que se detallan seguidamente.

Vasoconstricción

Tras la exposición al frío, la respuesta fisiológica inicial es la vasoconstricción periférica, la cual hace referencia a la contracción de los vasos capilares generando así una reducción en el flujo sanguíneo hacia la piel (Castellani y Young, 2016; Thompson-Torgerson, Holowatz, Flavahan, y Kenney, 2007). A nivel periférico la vasoconstricción está regulada por dos factores: a) la acción de los receptores α_2 adrenogénicos de la norepinefrina, los cuales generan un aumento en la cantidad de Ca^{+} a nivel celular provocando la contracción de la musculatura lisa, en este caso la de los vasos sanguíneos (Johnson, Yen, Zhao y Kosiba, 2004), b) el otro factor es la acción de la enzima Rho Cinasa la cual es una proteína de la familia de las guanosina trifosfatasa (GTPasas) (Thompson-Torgerson et al., 2007), esta proteína se activa por la acción de la enzima RhoA, con lo que provoca la fosforilación de la cadena liviana de la miosina (MLCP), inhibiéndose y de esta forma favorece la contracción de las células lisas vasculares (Jalil, Lavandero, Chiong, y Ocaranza, 2005).

Por su parte Wilcock et al. (2006), señalan que producto de la vasoconstricción producida por la inmersión en agua fría, se da una disminución en los fluidos que entran al espacio intersticial lo cual puede contribuir a restringir la inflamación y en consecuencia disminuir el daño muscular, sin olvidar el efecto analgésico que el contacto con el agua fría genera. Más adelante en el documento se detallan otros mecanismos que explican el cómo la vasoconstricción producida por las inmersiones en agua fría contribuye en el proceso de recuperación (ver figura 2).

Presión hidrostática

Por presión hidrostática debe entenderse la presión que genera el agua contra las paredes de la estructura que la contiene, así como la presión que esta ejerce sobre el cuerpo inmerso en ella (Versey, et al., 2013). Para el tema en estudio, estos autores (2013) indican que en todas las modalidades de inmersión ya descritas anteriormente esta juega un papel determinante, además señalan que la magnitud de la presión hidrostática guarda una relación lineal con la densidad del agua y la profundidad de la inmersión. Para su estimación se utiliza la siguiente fórmula:

$$\textit{Presión hidrostática} = \textit{Presión atmosférica} + \textit{gravedad} + \textit{densidad de agua} + \textit{altura del agua metros (nivel de inmersión)}.$$

Siendo la presión atmosférica a nivel de mar de 1.013 kg/m^3 ; gravedad de 9.81 m/s^2 ; altura del agua en metros. Dado lo anterior esta presión se verá primeramente influenciada por la altura del agua con referencia al cuerpo (nivel de profundidad de la inmersión), la cual puede ser sentado o de pie con el agua a nivel del ombligo o de pie con el agua hasta la altura media del esternón, siendo estas las posiciones corporales más utilizadas en los estudios realizados en el área de inmersiones como técnica de recuperación. A modo de ejemplo Versey et al. (2013), indican que a profundidades de 50, 100 150 cm, la presión hidrostática sería de 44, 81 y 18 mmHg respectivamente.

Por lo tanto los resultados de los distintos estudios varían en función de la profundidad de la inmersión, sin olvidar que el elemento clave que genera la diferencia entre las distintas

modalidades de inmersión serán la temperatura del agua y el tiempo de inmersión, así como si la actividad del sujeto fue (pasiva o activa) durante la misma (Versey et al., 2013).

La manera en que la presión hidrostática producto de las inmersiones en agua fría contribuye en el proceso de recuperación está asociada con otros aspectos como la vasoconstricción, la disminución de la temperatura de la piel y de la temperatura corporal (Ihsan et al., 2016), los detalles de esta interacción pueden verse en la figura 2.

Efecto de las inmersiones en agua fría sobre la fatiga del sistema nervioso central

Taylor, Todd y Gandevia (2006), definen la fatiga del sistema nervioso central (SNC) como la disminución en la capacidad de producir fuerza mediante la activación voluntaria, debido a la reducción tanto de la frecuencia como de la intensidad con que el impulso nervioso llega al músculo. Durante el ejercicio uno de los factores que influye fuertemente en este proceso de fatiga es el aumento progresivo de la temperatura corporal (Nybo y Nielsen 2001; Nybo, 2012). Bajo este argumento el mecanismo principal por el cual las inmersiones en agua fría se recomiendan como método de recuperación, es que estas contribuyen a la rápida disminución de la temperatura corporal, lo anterior debido a que la conductividad térmica del agua es 25 veces mayor que la del aire (Wakabayashi, Kaneda, Santo, Tochihara, y Nomura, 2008).

Como respuesta aguda a la disminución de la temperatura corporal producida por la inmersión, se mejora la capacidad de almacenamiento/tolerancia al calor, lo que permite mayor gasto de energía antes que se presenten las limitaciones fisiológicas asociadas con el agotamiento producto de alcanzar una temperatura corporal central superior a los 40°C. Al respecto los resultados de varios estudios refuerzan que las inmersiones en agua fría contribuyen en la disminución de la temperatura corporal después del ejercicio (Dunne et al., 2013; Enwemeka et al., 2002; Merrick, Jutte, y Smith, 2003; Peiffer, Abbiss, Waston, Nosaka y Laursen, 2008; Peiffer, et al., 2009a, Peiffer, et al., 2009b; Vaile et al., 2008a; Yeargin, Casa, Knight, Healey, Goss, Harvard y Hipp, 2006), los detalles de los hallazgos de estos estudios en particular se evidenciaron en el apartado de la variable temperatura corporal.

En lo referente al efecto de la disminución de la temperatura sobre el SNC, Pointon, Duffield, Cannon y Marino (2012), registraron mejoras inmediatas en la fuerza generada en

una contracción voluntaria máxima (CVM), así como en la activación voluntaria (AV) en el grupo de inmersión bajo un protocolo de dos bloques de 9 minutos de inmersión a 9 °C en comparación con un grupo control, lo anterior después de haber realizado 60 minutos de ejercicio intermitente en condiciones de calor. Por su parte, Minett, Duffield, Billaut, Cannon, Portus y Marino (2014), reportaron una mejor recuperación de la fuerza en CVM y en la AV, una hora después del ejercicio aplicando un protocolo de recuperación de 20 minutos de inmersión en agua a 10°C después de haber realizado como protocolo de fatiga una carrera intermitente durante 70 minutos en condiciones de calor. Estos resultados indican que las inmersiones en agua fría son eficaces mitigando de manera aguda la fatiga del SNC producida por la hipertermia propia del ejercicio.

Otro aspecto relacionando a la disminución de la fatiga del SNC, es la variación en el índice $\alpha:\beta$ el cual es un parámetro electroencefalográfico que aumenta progresivamente producto de la hipertermia inducida por el ejercicio, sus variaciones sugieren una disminución en el estado de excitación (aurousual fisiológico) y estados de alerta (Cheung y Sleivert, 2004; Nielsen, Hyldin, Bidstrup, González-Alonso, y Christoffersen, 2001), este planteamiento se basa en hallazgos de investigaciones referentes al tema, como los reportados por Nybo y Nielsen (2001), encontraron que estas variaciones en el índice $\alpha:\beta$ tienen una correlación alta y significativa ($r = 0.98$) con la disminución de la percepción de esfuerzo realizado (PER). Por su parte (Vaile et al., 2008a) reportaron disminuciones significativas en la percepción de esfuerzo realizado en ejercicio después de haber sido sometido a inmersiones en agua fría, específicamente a protocolos de inmersión intermitente de cinco ciclos de un minuto dentro del agua por dos minutos fuera del agua a 10 °C, a uno con la misma naturaleza a 15 °C y uno protocolo continuo de 15 minutos a 20 °C. Sin embargo, no se reportaron diferencias estadísticamente significativas al utilizar un protocolo intermitente de cinco ciclos de un minuto dentro del agua por dos minutos fuera del agua a 20 °C. Cabe mencionar que dada la poca evidencias es esta línea de trabajo se requiere de mayor cantidad de estudios que permitan comprender mejor los efectos de las inmersiones en agua fría sobre la actividad electroencefálica (Ihsan, Waston y Abbiss, 2016).

Un tercer argumento sobre el porqué las inmersiones en agua fría contribuyen en la disminución de la fatiga del SNC, es que la exposición al frío genera cambios en los

neurotransmisores dopamina y serotonina, estos son los encargados de regular el estado de ánimo, el sueño, las emociones, la motivación, la percepción del dolor y del nivel de fatiga por lo que podría creerse que el someterse a protocolos de inmersión podría contribuir a mitigar la fatiga del SNC. Meussen, Watson, Hasegawa, Roeldands, Piacentine (2006), sugieren que un aumento en la proporción de serotonina/dopamina está asociada con la sensación de cansancio y la rápida aparición de la fatiga, mientras que una baja relación serotonina/dopamina favorece un mejor rendimiento a través del mantenimiento de la activación y la activación fisiológica. No obstante, la evidencia científica en este sentido es escasa por lo que se requiere mucha investigación en esta línea, y esto es solo un razonamiento por el cual podría tener relación con la disminución de la fatiga (Ihsan, et al., 2016).

La integración de los mecanismos sugeridos por el cual las inmersiones en agua fría mejoran la recuperación de la fatiga del SNC, pueden entenderse de la siguiente manera: la disminución de la temperatura corporal se genera las disminuciones en el índice $\alpha:\beta$ y el índice serotonina-dopamina, ambos factores contribuyen a que la percepción de esfuerzo realizado sea menor. Por otra parte, la disminución de la temperatura corporal hace que aumente la capacidad de almacenamiento de calor, lo que permite un mayor gasto de energía antes de que se alcance una temperatura corporal ($>40^{\circ}\text{C}$), punto en el cual se empiezan a poner de manifiesto aspectos asociados con el agotamiento. (Ver salida A de la figura 2).

Efecto de las inmersiones en agua fría sobre la demanda cardiovascular

Existen investigaciones que han demostrado la reducción del esfuerzo cardiovascular y la redistribución sanguínea después de someterse a un protocolo de inmersión en agua fría. Por ejemplo Minnet et al. (2014), reportaron disminuciones significativas en la frecuencia cardiaca en reposo (FCrep), después de ser sometidos a un protocolo de recuperación de 20 minutos de inmersión en agua a 10°C . Por su parte, Poiton et al. (2012) incluso reportó el mismo comportamiento de la FCrep, después de un protocolo de 2 bloques de 9 minutos de inmersión a 9°C . Vaile et al. (2008a), también registraron disminuciones de la FCrep a distintos protocolos de inmersión, tanto continuos como intermitentes a 10°C y 15°C , estas disminuciones han sido tanto en ejercicio en condiciones de calor (Vaile, O'Hagan,

Stefannovic, Malaker, Gill y Askew, 2010; Yeargin et al., 2006) como en condiciones termo neutrales (Dunne et al., 2013).

Por su parte (Ihsan, Waston, Lipski, y Abbiss, 2013; Vaile et al., 2010), reportaron efectos positivos de las inmersiones en agua fría sobre el comportamiento hemodinámico, reportado una disminución en el flujo de sangre hacia las extremidades, bajo protocolos de 15 minutos a 10°C y de 15 minutos a 15°C, respectivamente, apoyando la idea de la redistribución sanguínea desde la periferia hacia la circulación central.

Los resultados de las investigaciones supracitadas permiten considerar que las inmersiones en agua fría pueden contribuir con la recuperación de la fatiga a corto plazo a través de la disminución del esfuerzo cardiovascular, lo anterior debido a que durante el ejercicio se da un gran esfuerzo cardiovascular y se redirige el flujo sanguíneo hacia la periferia para contribuir con la pérdida de calor. Esto genera que se disminuya el volumen sanguíneo central y muscular, lo que puede perjudicar el aporte de oxígeno y nutrientes, afectando así el rendimiento (González-Alonso y Calbet, 2003; Périard, Cramer. Chapma, Caillaud, y Thompson 2011).

Ihsan et al.(2016), indican que lo anterior podría explicarse de la siguiente manera: dado que con la inmersión en agua fría se genera una rápida vasoconstricción cutánea, esto hace que se redirige el flujo sanguíneo hacia la circulación central, además esto contribuye a la disminución de la temperatura corporal lo que representa un menor esfuerzo en el proceso de termorregulación dado que limita la necesidad de desviar la sangre hacia la piel, lo que permite que la misma circule con mayor flujo a nivel central y muscular facilitando los procesos de remoción de metabolitos de desecho y oxigenación, llevando de nutrientes a las estructuras musculares. Ver salida B de la figura 2.

Efecto de las inmersiones en agua fría sobre la fatiga del sistema nervioso periférico

Varios estudios han reportado disminuciones significativas en la activación parasimpática y la percepción del nivel de recuperación producto de la inmersión en agua fría (Al Haddad, Parouty y Buchheit, 2012; Bastos, Vandenlei, Nakamura, Bertollo, Godoy, Hoshi et al., 2012; Buchheit, Peiffer, Abbis, y Laursen, 2009; Parouty, Al Haddad, Quod, Leprêtre, Ahmaidi, y Buchheit, 2010; Stanley, Buchheit, y Peake, 2012). Estos resultados se asocian con los efectos inmediatos (agudos) generados por la presión hidrostática y la

vasoconstricción, durante las inmersiones en agua fría estos aspectos generan un aumento en el volumen sanguíneo central (Gabrielsen, Johansen y Norsk, 1993; Johansen, Jensen, Pump, y Norsk, 1997; Mourot, Bouhaddi, Ganderlin, Campelle, Domoulin, et al., 2008; Park, Choi, y Park, 1999), llevando el flujo sanguíneo desde la periferia hacia el centro del cuerpo, lo que genera un aumento del volumen sistólico y del gasto cardiaco (Gabrielsen et al., 1993; Park et al., 1999;) esto hace que la carga de los barorreceptores a nivel arterial y cardiopulmonar se activen, inhibiendo la actividad simpática y aumentando la actividad parasimpática, básicamente mediante la disminución de la frecuencia cardiaca (Gabrielsen et al., 1993, Pump, Shiraishi, Gabrielsen, Bie, Chistensen, y Norsk, 2001), acelerando así la reactivación parasimpática facilitando de esta manera el proceso de recuperación. (Ver salida C de la figura 2).

Efecto de las inmersiones en agua fría sobre la movilización de los metabolitos de desecho

El ejercicio de alta intensidad provoca la formación y acumulación de metabolitos de desecho, de hecho esto está claramente definido como un mecanismo generador de la fatiga (Allen, Lamp y Westerblad, 2008; Terrados y Callejas, 2010). En cuanto al uso de inmersiones en agua fría como método de recuperación, distintos estudios han reportado no observarse cambios significativas en cuanto al pH de la sangre (Halson, Quod, Martin, Gardner, Ebert, y Laursen, 2008; Hausswirth, Duffield, Pournot, Bieuzen, Louis et al., 2012; Pointon, et al., 2012), ni en la remoción del lactato sanguíneo (Hausswirth et al., 2012; Halson et al., 2008; Parouty et al., 2010; Pointon et al., 2012; Yeargin, et al., 2006).

Sobre la base de los estudios supracitados y los mecanismos explicados anteriormente, Ihsan et al., (2016), plantean que el efecto de las inmersiones en agua fría en la movilización de los metabolitos de desecho no se da directamente producto de las alteraciones o cambios en su metabolismo, sino que esto ocurre por acción colateral de otros procesos como lo son la vasoconstricción cutánea y la presión hidrostática, dado que ambas generan una mayor movilización del flujo sanguíneo desde la periferia a la circulación central, lo que contribuye en la remoción de los metabolitos de desecho e incremento del proceso de la hemodilución (Stocks et al., 2004), entendiendo como hemodilución, el proceso mediante el cual se dan cambios en los fluidos intersticiales en los

espacios intravasculares, lo que genera el aumento del gradiente de presión osmótica a nivel intracelular e intravascular, lo que facilita la salida de subproductos metabólicos al espacio intersticial a nivel de la circulación periférico acompañado del mayor flujo a nivel central (intratorácica) permitiendo la acción de órganos como el hígado y los riñones en el proceso de eliminación de metabolitos de desecho y otras toxinas (Ihsan et al., 2016), este encadenamiento de factores se muestra en la salida D de la figura 2.

Efecto de las inmersiones en agua fría sobre el daño muscular inducido por ejercicio

Como se indicó en el apartado de DOMS, existen varios estudios (Bailey, Erith, Griffin, Dawson, Brewer, Grant, y Williams, 2007; Delextrat et al., 2012; Rowsell, Coutts, Raeburn, y Hill-Haas, 2011; Stanley et al., 2012; Washington, Gibson, y Helme, 2000) e incluso evidencia meta analítica (Leeder et al., 2012, Sánchez-Ureña, et al., 2015, Hohenauer et al., 2015), Taeymans, Baeyens, Clarys, y Clijsen, 2015), que reportan la eficacia del uso de las inmersiones en agua fría como método para disminuir el dolor muscular inducido por ejercicio, estos hallazgos podrían explicarse por la interacción de los siguientes factores: presión hidrostática, la vasoconstricción, la redistribución sanguínea y la disminución de la temperatura muscular.

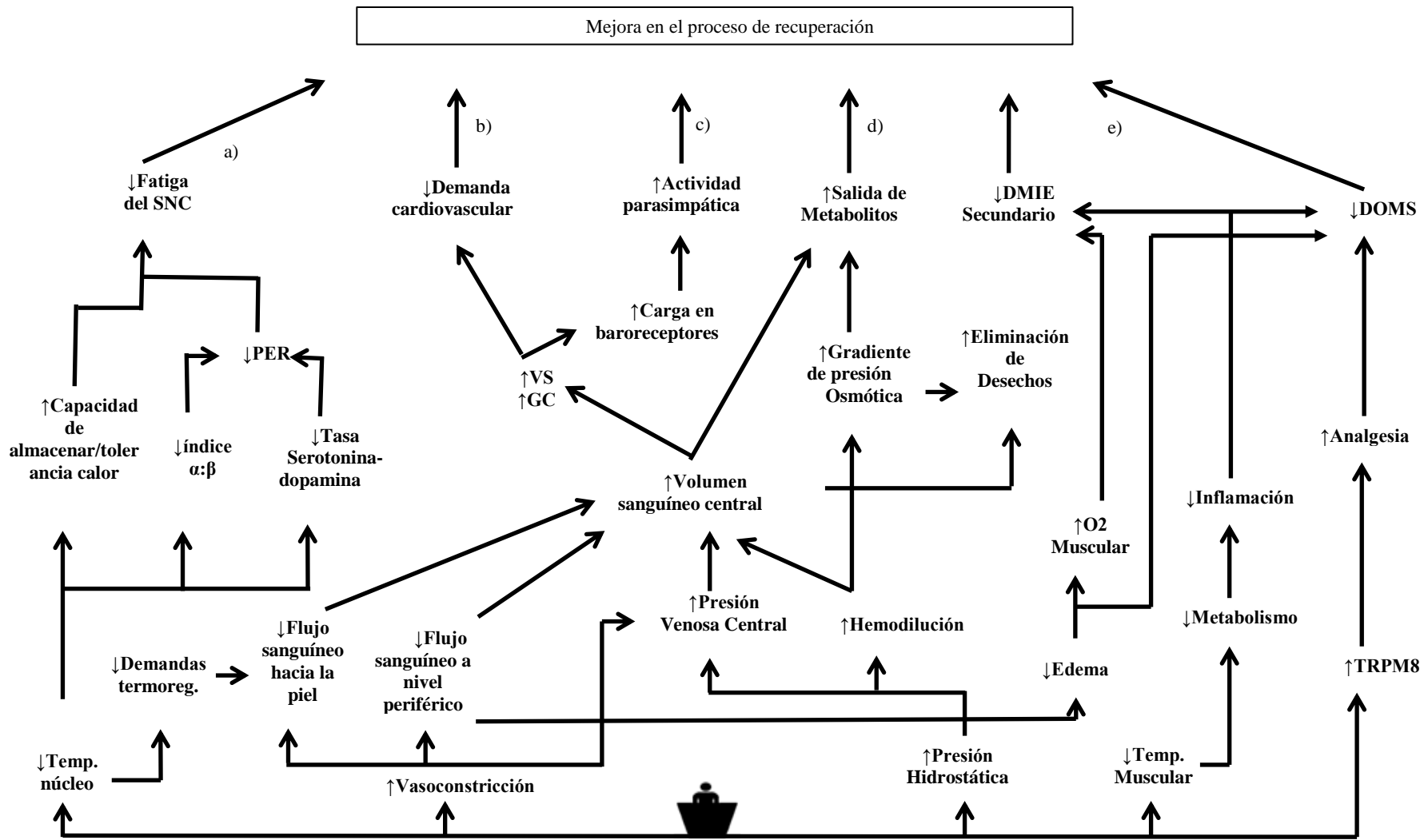
De acuerdo con Ihsan et al (2016), la explicación de cómo estos factores interactúan para favorecer la recuperación del dolor muscular inducido por ejercicio, se sustentan en que la disminución de la temperatura muscular, genera una reducción en el metabolismo intramuscular, minimizando la posibilidad de daño muscular causado por otros factores extraños como eventos inflamatorios y muerte de tejido celular.

Al igual que en la recuperación sobre el sistema nervioso periférico, la vasoconstricción y la presión hidrostática de manera conjunta contribuyen a la disminución del flujo sanguíneo a nivel periférico y el aumento del flujo sanguíneo a la circulación central (Gabrielsen et al., 1993; Johansen et al., 1997; Stocks, et al., 2004), generando con ello la movilización de fluidos desde los espacios extravasculares (intracelulares e intersticiales) hacia los compartimentos intravasculares (hemodilución) (Johansen et al., 1997; Stocks et al., 2004) provocando con ello un aumento en el gradiente de presión osmótica en este caso intracelular/extracelular, lo que a su vez facilita la movilización de desechos celulares y tejido necrótico desde los músculos hacia la circulación central (Wilcock et al., 2006).

De igual manera, la vasoconstricción y la presión hidrostática causan una disminución de la formación y tamaño del edema muscular (Wilcock et al., 2006, Yanagisawa, Kudo, Takahashi, y Yoshioka, 2004), facilitando de esta manera el intercambio de oxígeno entre los capilares y fibras musculares lo cual también contribuye con la recuperación del dolor muscular inducido por ejercicio (Crenshaw, Karlsson, Gerdle, y Fridén, 1997).

Debe mencionarse que la exposición al frío ha demostrado la activación potencial del receptor transitorio 8 de la melastatina (TRPM8 por sus siglas en inglés.). Este receptor de temperatura localizado en la parte dorsal del ganglio en las neuronas sensoriales que inervan la piel (Wang y Siemens, 2015), localizados en este caso a nivel de las fibras A δ y C, que son los equivalentes cutáneos de los aferentes musculares del grupo III y IV, relacionados con las sensaciones de dolor y temperatura (Knowlton, Palkar, Lippoldt, McCoy, Baluch, Chen, et al., 2013; Proudfoot, Garry, Cottrell, Rosie, Anderson, et al., 2006). Una vez activado el TRPM8 entra en juego el efecto analgésico dado por la acción de inter neuronas inhibitorias de la columna vertebral o directamente en los nociorreceptores (Knowlton et al., 2013) mejorando así la percepción del DOMS y aumentando la sensación de recuperación (Ihsan et al., 2016). La integración de estos factores y mecanismos explicativos se muestra en la salida E de la figura 2.

La evidencia científica analizada en el marco teórico permite visualizar la existencia de resultados tanto a favor como en contra del uso de las inmersiones en agua fría como método de recuperación tanto en variables psicológicas como fisiológicas, lo que da cabida al planteamiento de las hipótesis 1 y 2 de este estudio. Además la existencia de evidencia científica en cuanto a la modalidad de inmersión es escasa por lo que la hipótesis 3 de este estudio toma fuerte relevancia puesto que solo pocos estudios han comparado la modalidad de inmersión sea esta continua o intermitente.



Nota: Temp: temperatura, TRPM8: potencial receptor transitorio 8 de la melastatina, Musc: muscular, VS: volumen sistólico, GC: gasto cardiaco, PER: Percepción de esfuerzo realizado, SNC: sistema nervioso central, DOMS: delayed onset muscle soreness, DMIE: dolor muscular inducido por ejercicio. ↑: aumenta, ↓: disminuye.

Figura 2. Integración de los mecanismos sugeridos por el cual las inmersiones en agua fría mejoran la recuperación. Adaptado de Ihsan, Weston y Abbiss (2016) con el permiso de los autores (Anexo 8).

Capítulo III METODOLOGÍA

Los detalles metodológicos del primer y segundo momento pueden verse en los anexos 1 y 2 respectivamente. Este apartado, se plantea para la investigación del tercer momento de este proceso, el cual como se mencionó anteriormente consta de un estudio experimental, que se desarrolló con las siguientes características metodológicas.

Tipo de estudio y diseño

Tipo de estudio: Experimental de diseño completamente aleatorio de (3x4) de medidas repetidas. Se contará con un grupo control: reposo sentado y dos grupos de tratamiento: el primer grupo realizó inmersiones en agua fría modalidad continua y el segundo grupo experimental efectuó inmersiones en agua fría modalidad intermitente.

Diseño:

		MOMENTO DE MEDICIÓN			
		Pretest	Postest 1 (0 horas)	Postest 2 (24 horas)	Postest 3 (48 horas)
TRATAMIENTO	Grupo Control	X	X	X	X
	Grupo Experimental 1 (Inmersiones continuas)	X	X	X	X
	Grupo Experimental 2 (Inmersiones intermitentes)	X	X	X	X

Participantes

Participaron en el presente estudio un total de 40 sujetos masculinos, aparentemente sanos estudiantes de Educación Física y Promoción de la Salud Física de la Escuela de Ciencias del Movimiento Humano y Calidad de Vida de la Universidad Nacional de Costa Rica (CIEMHCAVI). Los cuales presentaron una media de edad de $21,8 \pm 2,76$ años, un peso corporal de 73.15 ± 8.15 kg, una estatura promedio de 176.6 ± 5.3 cm y un promedio en su porcentaje de grasa de $13.5 \pm 3.4\%$. Los sujetos fueron distribuidos aleatoriamente entre las tres condiciones del estudio (control, experimental 1 y experimental 2), asumiendo un diseño experimental (3x4) con

medidas repetidas, considerando una potencia estadística mínima de 80%, un nivel de significancia alfa de 0.05 y un tamaño de efecto equivalente a 0.4 desviaciones estándares de la variable analizada. Para el cálculo de este tamaño de muestra mínimo requerido se utilizó el programa GPower 3. 1.

Su selección estuvo en función del cumplimiento de los siguientes criterios.

Criterios de inclusión:

- Estudiante activo de la CIEMHCAVI
- Masculino
- Obtener un índice de fatiga igual o menor al 20% en el test de 30 saltos continuos en contramovimiento

Criterios de exclusión:

- Reportar haber sufrido lesión en rodillas y tobillos recientemente (4 semanas)
- Tener algún tipo de lesión a nivel cutáneo en las extremidades inferiores.

Instrumentos, equipos y materiales

Instrumentos, equipos y materiales para la medición de las variables descriptivas de la muestra.

- a) Variables antropométricas y composición corporal (son de tipo descriptivas no incluidas dentro del análisis).

Estatura: Se utilizó un estadímetro marca “Tanita” con precisión de 0.1 cm.

Peso corporal: Se determinará mediante una báscula marca “Tanita” modelo HD-313 con una precisión de ± 0.1 kg.

Porcentaje de grasa:

Para la determinación del porcentaje de grasa por medio de pliegues cutáneos se utilizó un plicómetro marca “Lange” con precisión de 0.2 mm y sensibilidad 1 mm.

Instrumentos, equipos y materiales para la manipulación de las variables independientes

Protocolo de recuperación (inmersiones):

Las inmersiones se realizaron en piscinas plásticas inflables, las cuales tienen una profundidad de 75 cm y una circunferencia de tres metros. El enfriamiento del agua se realizó mediante la aplicación de cubos de hielo al agua. El tiempo de inmersión fue medido con un cronómetro digital, marca “Casio”, modelo HS-60W. La temperatura del agua fue registrada y monitoreada

cada minuto, mediante un termómetro digital. Dichas mediciones se hicieron con el objetivo de estar controlando los cambios abruptos de la temperatura.

De igual manera la temperatura ambiental donde se realizaron las inmersiones, fue controlada mediante la asignación de la temperatura de 23 °C al aire acondicionado del lugar y fue registrada mediante termómetros digitales durante todo el periodo del ensayo, para que los sujetos realizaran el estímulo fatigante en condiciones ambientales idénticas, además de permitir que tanto el grupo control como los sujetos asignados a las inmersiones intermitentes estuvieran fuera del agua a una misma temperatura.

Esta variable independiente presenta tres niveles: 1) grupo control que realizará recuperación pasiva, 12 minutos sentados en la habitación a 23 °C, 2) grupo experimental uno, que recibirá inmersiones en agua fría a 12 ± 0.4 °C durante 12 minutos de manera continua, 3) grupo experimental dos, que recibirá inmersiones en agua fría a 12 ± 0.4 °C durante 12 minutos de manera intermitente: 2 minutos dentro de la piscina, 1 minuto afuera de la piscina a temperatura controlado de 23 °C, repitiendo este ciclo durante seis ocasiones, para garantizar los 12 minutos de inmersión.

Protocolo de fatiga:

El protocolo de fatiga consistió en la ejecución de ocho series de 30 segundos de saltos continuos en contramovimiento, con una pausa de 90 segundos entre serie. El tiempo de ejecución y de pausa fue registrado y controlado mediante cronómetros digitales, marca “Casio”, modelo HS-60W.

Percepción de esfuerzo realizado:

La percepción de esfuerzo, fue registrada mediante la escala modificada de “Borg”, de 0 a 10, con el objetivo de valorar el esfuerzo realizado durante todo el estímulo. Esta variable fue registrada inmediatamente los sujetos terminaron el protocolo de fatiga (Anexo 3).

Instrumentos, equipos y materiales para la medición de las variables dependientes

a) Variables psicológicas

Percepción del dolor:

Se evaluó por medio de la escala visual analógica para la percepción del dolor (VAS-PAIN) por sus siglas en inglés, la cual presenta una confiabilidad de ($r=0.97$) (Price, McGrath, Raffi, y Buckingham, 1983). Esta escala es una línea continua de diez centímetros de longitud, donde

cero (0) significa ningún dolor y diez (10) extremadamente doloroso, en dicha línea el sujeto indica el nivel de dolor que percibe durante la ejecución de una contracción concéntrica de un grupo muscular, en este caso en la ejecución de media sentadilla hasta los 90° de flexión a nivel de rodilla. Esta variable fue medida en cuatro momentos a saber (pre: una hora antes de realizar el protocolo de fatiga, post1: inmediatamente después de concluido el protocolo de recuperación, post 2: 24 horas posteriores a la ejecución del estímulo fatigante y post 3: 48 horas después de dicho estímulo) (Anexo 4).

Percepción del nivel de recuperación:

La estimación del grado de recuperación se realizó mediante la escala incluida en el cuestionario de recuperación total (TQR), por sus siglas en inglés, este instrumento utiliza una estructura similar a la escala Borg en su versión de 6 a 20 (Borg, 1973), este instrumento fue desarrollado por Kenttä y Hassmen (1998), donde 6 significa no he recuperado en absoluto y 19 significa recuperado al máximo, siendo una puntuación de 13 la mínima para considerar un nivel de recuperación mínimo adecuado. Esta variable fue medida en cuatro momentos: (pre: una hora antes de realizar el protocolo de fatiga, post1: inmediatamente después de concluido el protocolo de recuperación, post 2: 24 horas posteriores a la ejecución del estímulo fatigante y post 3: 48 horas después de dicho estímulo) (Anexo 5).

b) Variables fisiológicas

Temperatura de la piel:

Se determinó mediante una cámara termográfica marca “FLIR” modelo T450: este instrumento se emplea para cuantificar la temperatura corporal superficial, específicamente fue medida a nivel del muslo, tanto en su cara posterior como anterior de ambas piernas. Igualmente fue medida en tres momentos a saber (pre: una hora antes de realizar el protocolo de fatiga, post 2: 24 horas posteriores a la ejecución del estímulo fatigante y post 3: 48 horas después de dicho estímulo).

Tiempo de contracción muscular:

Su medición se realizó a nivel del bíceps femoral y del recto femoral tanto en pierna derecha como izquierda, su selección obedece a que en estudios previos se han reportado un alto índice de correlación intraclase [ICC: 0.92] (Benítez-Jiménez et al, 2013; Tous-Fajardo et al., 2010).

Desplazamiento radial muscular:

Su medición se realizó a nivel del bíceps femoral y del recto femoral tanto en la pierna derecha como izquierda, su selección obedece a que en estudios previos se han reportado un alto índice de correlación intraclase [ICC: 0.94 a 0.97] (Benítez-Jiménez, et al., 2013; Tous-Fajardo et al., 2010).

Para la medición de ambas variables se utilizó un tensiomiógrafo marca (TMG System 100®, Ljubljana, Slovenia), un estimulador eléctrico artificial (TMG-S1, d.o.o., Ljubljana, Slovenia) para generar el estímulo. El sensor Dc–Dc Trans-Tek® (GK 40, Panoptik d.o.o., Ljubljana, Slovenia) con una resolución según el fabricante (TMG-BMC Ltd.) de 2µm. Para la transmisión de los impulsos eléctricos se usaron dos electrodos cuadrangulares (5x5 cms) y adhesivos (TheraTrobe®, TheraSigma, California, United States of America). Para mantener la rodilla en una posición uniforme y en estado de reposo, se empleó una almohadilla triangular que provoca una angulación articular de 120°. Para el análisis de la información se utilizó el software (TMG 100 Software 3.0). El sensor se colocó en el punto de mayor circunferencia radial (García-Manso, et al., 2010) según la guía anatómica para electromiografía (Perotto, Delagi, Lazzetti, y Morrison, 2011).

Para evaluar ambas variables es necesario provocar la contracción muscular aplicando una corriente eléctrica bipolar, partiendo de una amplitud inicial de 50 miliamperios (mA). La amplitud de corriente alterna se incrementó progresivamente cada 10 segundos para intentar reducir al mínimo los efectos de fatiga y potenciación. La magnitud de cada incremento fue de 10 mA hasta llegar al umbral de estimulación más alto permitido por el aparato, 110 mA. Lo anterior de acuerdo al protocolo de (Ditroilo, Smith, Fairweather y Hunter, (2013). Estas variables determinadas mediante la tensiomiografía, fueron medidas en tres momentos a saber (pre: 1 hora antes de realizar el protocolo de fatiga, pos 1: 24 horas y pos 2: 48 horas posteriores a la ejecución del estímulo fatigante.

Potencia muscular (capacidad de salto).

Se midió mediante plataforma de salto marca “Newtest”, a través del software marca Newtest. Utilizando el salto con técnica en contramovimiento (Bosco, 1994). En este salto el sujeto se coloca sobre la plataforma de salto con las piernas separadas al ancho de los hombros, con las manos en la cintura. A la señal realiza un salto siempre con las manos en la cintura y

realizando un movimiento explosivo en contramovimiento. Esta variable fue registrada en cuatro momentos: (pre: una hora antes de realizar el protocolo de fatiga, posterior 1: inmediatamente después de concluido el protocolo de recuperación, posterior 2: 24 horas después a la ejecución del estímulo fatigante y posterior 3: 48 horas después de dicho estímulo. Esta prueba presenta una fiabilidad test-retest de ICC: 0.98, (Mackovic, Dizdar, Jukic, y Cardinale, 2004).

Volumen muscular:

Se estimó mediante la fórmula desarrollada por Katch y Katch, (1974), donde describen el segmento del muslo como un cilindro truncado o cónico, siendo posible obtener dicho volumen con las medidas de las circunferencias a nivel sub-glútea y a nivel de rodilla, así como la altura o largo del segmento medido, en este caso el muslo. Las variaciones dadas en los volúmenes musculares corresponden a la presencia de inflamación en el segmento lo cual está asociado con el daño muscular (Chen y Hsieh 2000; Eston y Peters, 1999, Vaile et al., 2008). Estas medidas fueron tomadas mediante el uso de cinta métrica, realizando una marca con un marcador permanente para garantizar que dichas mediciones se realicen siempre en el mismo punto. Esta variable fue medida en cuatro momentos a saber (pre: una hora antes de realizar el protocolo de fatiga, posterior 1: inmediatamente después de concluido el protocolo de recuperación, posterior 2: 24 horas después a la ejecución del estímulo fatigante y posterior 3: 48 horas después de dicho estímulo).

Procedimiento

Fase 1: Estudio piloto

Previa a la implementación del protocolo experimental, se llevó a cabo un estudio piloto con el objetivo de valorar la pertinencia del protocolo de fatiga propuesto, el tiempo de medición de las distintas variables dependientes y la comprensión de los instrumentos utilizados por parte de los sujetos, todo lo anterior a fin de depurar el protocolo de intervención. En esta fase del estudio participaron seis sujetos. Una vez detectados y corregidos los detalles evidenciados en el piloto, se procedió con la fase experimental. En esta fase se sometió a dos sujetos a cada uno de los siguientes protocolos de fatiga: seis series de 30 segundos, 8 series de 30 segundos y 10 series de 30 segundos de saltos continuos en contramovimiento con 90 segundo de pausa. Después de registrar los datos a las cero, 24 y 48 horas y visualizadas las respuestas de los sujetos sometidos

a cada protocolo, se determinó que el protocolo de 6 x 30 era un estímulo insuficiente, que el de 10 x 30 fue excesivo y atentaba contra la funcionabilidad propia dentro del día a día de los sujetos, por lo cual se consideró innecesario y abusivo llevarlos a este punto de fatiga y daño muscular, por lo que el protocolo de 8 x 30 fue el mejor protocolo para lograr un grado de fatiga necesario para generar el daño muscular sin atentar contra la salud y el desempeño habitual de los sujetos en su vida cotidiana. Esta fase también permitió el entrenamiento del grupo de investigadores en el empleo de todos los protocolos de evaluación y la determinación del tiempo requerido para completar de protocolo de investigación por cada sujeto y determinar la capacidad máxima de sujetos que se podrían citar en una misma fecha.

Fase 2: Estudio experimental

Logística

Se procedió a exponer los objetivos del estudio a los posibles participantes del estudio mediante una exposición breve del trabajo. En aquellos casos donde se mostró interés se les asignó una fecha para la realización de la prueba de 30 segundos en salto en contramovimiento, y evaluar el cumplimiento de los otros criterios de inclusión y exclusión para participar en el estudio.

Una vez seleccionados los sujetos por dichos criterios, a quienes cumplían con estos se les presentó y explicó el documento consentimiento informado (Anexo 6), el cual fue previamente aprobado por el Comité Ético Científico de la Universidad Nacional de Costa Rica. En dicho consentimiento los participantes pudieron leer y analizar el protocolo a seguir, la participación en el estudio fue voluntaria y se consignó de esta manera mediante firma del consentimiento.

Seguidamente se realizó la asignación aleatoria de los sujetos a los dos grupos experimentales y el grupo control. Una vez establecidos los grupos, se procedió a definir las fechas para realizar una familiarización de los sujetos con las pruebas e instrumentos mediante una intervención piloto con los participantes del estudio (con un estímulo de fatiga distinto al utilizado en el estudio y sin protocolo de recuperación, es decir, con una recuperación pasiva tal cual la haría el grupo control). Los datos recolectados durante este periodo no fueron parte de los análisis realizados en este estudio. Seguidamente se procedió a calendarizar la intervención dentro de las tres semanas siguientes.

Operacional

Los sujetos fueron citados en subgrupos, primeramente fue medida la temperatura de la piel a nivel del muslo tanto en plano frotal como el posterior en ambas piernas. Para ello se acondicionó una sala con el espacio necesario para realizar estas mediciones, bajo el siguiente protocolo: los sujetos fueron ingresados a esta sala la cual se encontraba a una temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, y debieron ubicarse de pie en su solo lugar durante 15 minutos con en ropa interior, lo anterior con el objetivo de que sus cuerpos homogenizaran la temperatura corporal y esta no se viera afectada por estar en contacto con objetos u otros cuerpos. Una vez cumplida esta fase se procedió a tomar las fotografías térmicas a cada sujeto primero en el plano anterior y luego en el plano posterior con 45 segundos de tiempo entre cada una. Para ello el sujeto debía colocarse en una posición estandarizada (posición anatómica) sobre un cajón ubicado a tres metros de la termocámara la cual se encontraba sobre un trípode a una altura de 60 cm, estos valores preestablecidos de distancia y altura de la cámara evitan que la sensibilidad de la cámara se vea afectada ni afecte los datos tomados en la fotografía. De igual manera previamente la cámara fue calibrada para trabajar con una emisividad de 0.97, otro aspecto fundamental fue la existencia de una superficie homogénea en cuanto a textura y color se refiere (fondo blanco) en el fondo de la pared sobre la cual se tomarían las fotografías para garantizar la uniformidad de las imágenes. Este protocolo fue repetido en las mediciones pre, pos 24 horas y pos 48 horas.

Una vez finalizada la evaluación termográfica, los sujetos fueron trasladados en grupos a otra sala que igualmente se encontraba a una temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, en esta sala y con el mismo orden se les aplicó las mediciones antropométricas (peso, talla y % porcentaje de grasa), seguidamente se les midió las circunferencias musculares y longitud a nivel del muslo, para determinar el volumen muscular. Posteriormente se les aplicó la escala de percepción de recuperación, luego les fue aplicada la escala VAS-PAIN para medir el dolor muscular percibido al realizar una media sentadilla con 90 grados de flexión a nivel de rodilla. Estas mediciones se realizaron de manera previa a realizar la evaluación tensiomiográfica, esto con el objetivo que el estímulo eléctrico dado mediante la tensiomiografía no afectara la sensación de dolor muscular ni de recuperación, puesto que se estaría aplicando estos estímulos tanto en el bíceps femoral como en el recto femoral, ambos músculos involucrados en el gesto de la media sentadilla.

La evaluación tensiomiográfica, se realizó tanto a nivel del bíceps femoral como del recto femoral bajo el siguiente protocolo: se provocó la contracción muscular aplicando una corriente eléctrica bipolar, partiendo de una amplitud inicial de 50 miliamperios (mA). La amplitud de corriente alterna se incrementó progresivamente cada 10 segundos para intentar reducir al mínimo los efectos de fatiga y potenciación. La magnitud de cada incremento fue de 10 mA hasta llegar al umbral de estimulación más alto permitido por el dispositivo, 110 mA. (Ditroilo, Smith, Fairweather y Hunter, 2013). Para ello el sensor fue colocado en el punto de mayor circunferencia radial (García-Manso, Rodríguez-Matoso, Sarmiento, Vaamonde, Rodríguez-Ruiz, Da Silva-Grigoletto, 2010) según la guía anatómica para electromiografía (Perotto, Delagi, Lazzetti y Morrison, 2011), de manera perpendicular (García-Manso, Rodríguez-Matoso, Sarmiento, Vaamonde, Rodríguez-Ruiz, Da Silva-Grigoletto, 2012), con una presión inicial de $1,5 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$ (Ditroilo et al., 2013) y en un punto equidistante a los bordes internos de dos electrodos cuadrangulares (5x5cm) y adhesivos, el ánodo se coloca proximal y el cátodo distal (Rey, Lago-Peñas y Lagos-Ballesteros, 2012). Los electrodos se colocaron con una distancia de 3-5 cm entre sí y en un punto a 2,5 cm de cada bordes interno de los electrodos (Tous-Fajardo et al., 2010). Los electrodos fueron reemplazados cada 5 sujetos para mantener la impedancia adecuada.

Después de pasados 3 minutos se les aplicó la prueba del salto en contramovimiento bajo el protocolo de Bosco (1992), este periodo se estableció como espacio para descansar al músculo del estímulo generado con la tensiomiografía.

Seguidamente, los sujetos fueron sometidos a un calentamiento que consistió en un trote moderado de 10 minutos en banda sin fin a una velocidad de 4.1Mph (6.6Kph) sin inclinación, este estímulo es un estimado al 50% del consumo oxígeno de reserva ($\text{VO}_2\text{máx}$ promedio de 56 ml/kg/min), para ello se utilizara las fórmulas propuestas por el Colegio Americano de Medicina del Deporte [ACSM] (2014) para la estimación de gasto calórico:

$$\text{VO}_2\text{max (ml/kg/min): } 3.5 + (2.68 \times \text{Vel [mph]}) + (0.48 \times \text{Vel [mph]} \times \% \text{ inclinación})$$

Protocolo de fatiga

Una vez realizado el calentamiento fue aplicado el protocolo de fatiga, el cual consistió en realizar un total de 8 series de 30 segundos de saltos continuos en contramovimiento con una pausa de 90 segundos entre cada serie. En este salto el sujeto se coloca sobre la plataforma de salto con las piernas separadas al ancho de los hombros, con las manos en la cintura durante todo el periodo que debió realizar los saltos. Al finalizar dicho estímulo, se aplicó a los sujetos la escala de percepción del esfuerzo Borg y la escala de percepción del dolor muscular VAS-PAIN de manera inmediata (30 a 60 segundos después).

Protocolo de recuperación

Posteriormente a la inducción de fatiga se procedió con la aplicación de los protocolos de recuperación previamente asignados a cada sujeto mediante el proceso de aleatorización, siendo los tratamientos de inmersión: 12 min de inmersión continua con el agua a una temperatura de $12 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$; inmersiones intermitentes 2 minutos dentro del agua y un minuto fuera a temperatura ambiente “de la habitación donde se realicen las inmersiones” durante seis ciclos para un total de 18 minutos (12 dentro y 6 fuera), con el agua a una temperatura de $(12 \pm 0.4^{\circ}\text{C})$, el grupo control que solamente reposará en posición de sentado durante ese mismo periodo.

Una vez finalizado el protocolo de recuperación y dando un espacio de 5 minutos para que los sujetos que fueron de los grupos experimentales se secaran y cambiaran de ropa, se realizaron nuevamente las mediciones posteriores inmediatas (cero horas) para las variables: dolor muscular, percepción de recuperación, volumen muscular y salto CMJ. Se indicó a los sujetos que en 24 y 48 horas deberían nuevamente presentarse en la sala donde se inició con las mediciones. Siendo que a las 24 y 48 horas se volvería a evaluar todas las variables y en el mismo orden: temperatura de la piel, volumen muscular, dolor muscular, percepción de recuperación, tiempo de contracción y tiempo de desplazamiento muscular mediante la tensiomiografía y la capacidad de salto en contramovimiento, ver diagrama en (Anexo 7).

Análisis estadístico

Se aplicó estadística descriptiva (promedio y desviaciones estándar) para todas las variables analizadas en el estudio. Se evaluó y corroboró los supuestos de la normalidad de los datos por medio del “Shapiro Wilk Test” y la homogeneidad de las varianzas mediante “test de Levene”, independencia de residuales, simetría compuesta “Box M” y esfericidad “Mauchley”. La homogeneidad de los grupos antes de implementar el ensayo se determinó mediante análisis de varianza (ANOVA) de una vía. Se aplicaron ANOVA de medidas repetidas para comparar los efectos de los diferentes protocolos de recuperación (tres) y comparar los resultados de los diferentes momentos de medición según variables, ya que para algunas existieron mediciones pre tratamiento (una hora antes), posterior 1 (inmediato), posterior 2 (24 horas), Posterior 3 (48 horas), para otras solo se registraron las mediciones pre, posterior a 24 horas y posterior a 48 horas. Los análisis post hoc se realizaron con base en la técnica de Bonferroni. Se utilizó el paquete estadístico para las ciencias sociales (SPSS) (IBM, SPSS Statistics, V. 21.0 Chicago, IL, USA). El nivel de significancia utilizada para la toma de decisiones fue de $p < .05$.

Capítulo IV RESULTADOS

En este apartado se presentarán los hallazgos del tercer momento del proceso de la disertación doctoral. Los resultados del momento 1 y 2 se encuentran en los anexos (1 y 2).

En primera instancia se presentan las estadísticas descriptivas que caracterizan a los participantes del estudio. Posteriormente se muestran los resultados de las variables dependientes analizadas de tipo psicológico y las de orden fisiológico.

Tabla 1.

Características descriptivas de las variables antropométricas y neuromusculares en línea base general y según tratamiento.

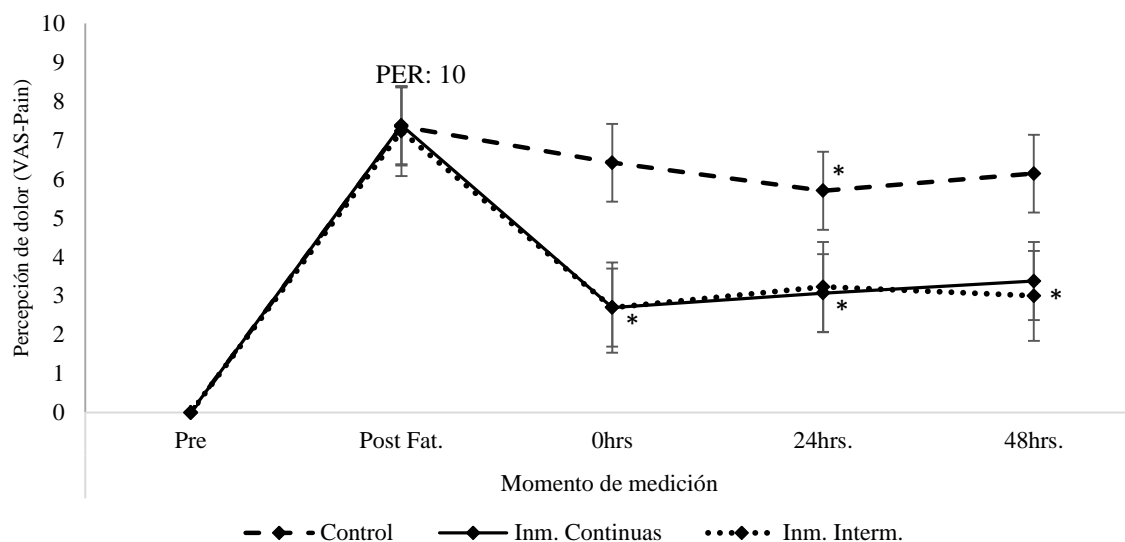
Grupos	General (n=40)	G. Control (n=14)	G. Inm. Cont. (n=13)	G. Inm. Interm. (n=13)
<i>Variables antropométrica</i>	X ± DS	X ± DS	X ± DS	X ± DS
Edad (años)	21.8 ± 2.7	21.7 ± 2.8	21.4 ± 2.7	22.3 ± 2.9
Peso (Kg)	73.1 ± 8.1	74.9 ± 9.3	71 ± 6.4	73.4 ± 8.5
Talla (cm)	176.6 ± 5.3	177.0 ± 4.7	175.9 ± 5.1	176.9 ± 6.1
% Grasa corp.	13.5 ± 3.3	13.3 ± 3.5	13.9 ± 3.1	13.4 ± 3.6
<i>Variables neuromusculares</i>	X ± DS	X ± DS	X ± DS	X ± DS
CMJ (cm)	39.7 ± 6.2	37.9 ± 6.3	41.3 ± 5.3	40.1 ± 6.8
Índ. Fatiga (30seg)	14.9 ± 4.7	15.7 ± 4.6	16.4 ± 4.4	12.7 ± 6.9

Nota: X: promedio. DS: desviación estándar. G: grupo. Inm: inmersiones. Cont.: continuas. Interm: intermitentes. cm: centímetros. Índ: índice.

La tabla 1 contiene las características antropométricas y neuromusculares de la muestra analizada y de los subgrupos según condición experimental al cual fueron asignados en la línea base. No se registraron diferencias significativas entre los grupos ($p > .05$) en ninguna de las variables descriptivas analizadas en la condición previa al inicio del estudio, lo cual permite considerarlos como grupos homogéneos.

Resultados en las variables psicológicas

En relación con lo planteado en las hipótesis uno y tres, en cuanto a los factores psicológicos del proceso de recuperación se presentan los resultados obtenidos en el presente estudio.



Nota: *: Diferencias significativas con respecto a la medición posterior al protocolo de fatiga. PER: percepción de esfuerzo realizado.

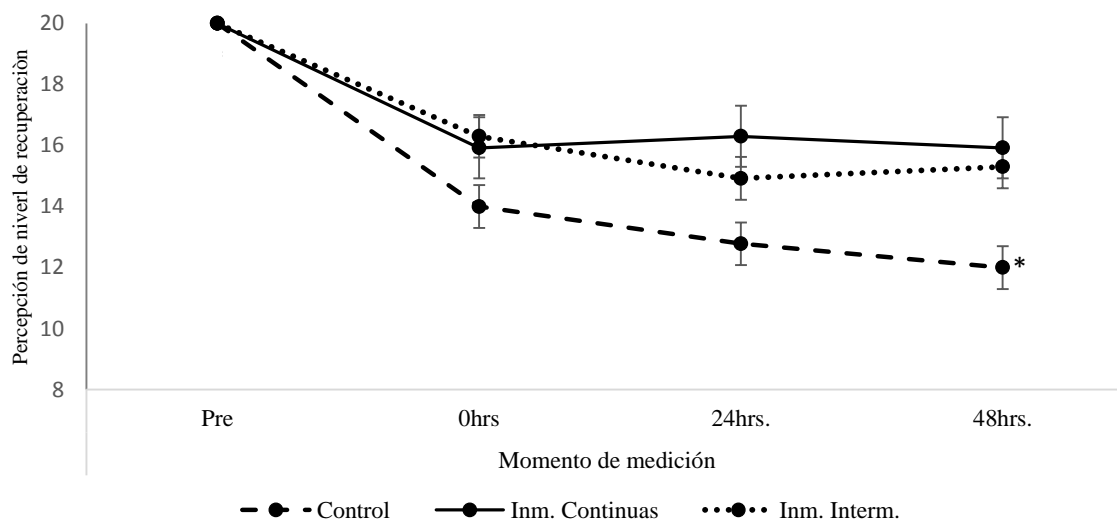
Figura 3. Comparación inter e intra grupo para la variable percepción del dolor muscular por momento de medición.

La figura 3 muestra el contraste entre grupos para la variable dolor muscular en los distintos momentos de medición, donde se registró interacción entre los factores grupo y momento de medición ($F(8,148) = 5.15$, $p < .001$, $\omega_p^2: .174$), esto indica que los puntajes del dolor muscular percibido variaron en un 17,4% producto del tratamiento, lo cual representa un tamaño de efecto moderado.

El análisis mostró que tanto el grupo de inmersiones continuas como el grupo de inmersiones intermitentes presentan diferencias significativas con respecto al grupo control en todos los momentos de medición posterior al protocolo de recuperación ($p < .05$). En la medición realizada a las 0 horas posteriores al tratamiento se encontró que tanto el grupo de inmersiones continuas como el de inmersiones intermitentes reportaron valores más bajos de dolor muscular con

respecto al grupo control ($p < .001$ en ambos). Esta tendencia se mantuvo a las 24 horas, donde se encontró diferencias significativas entre el grupo control y el grupo de inmersiones continuas ($p = .011$), así como entre el control y el grupo de inmersiones intermitentes ($p = .019$). Finalmente, para el contraste a las 48 horas, ambos grupos experimentales (continuas e intermitentes) mostraron un mejor nivel de recuperación del dolor muscular en comparación con el grupo control ($p = .002$ y $p < .001$ respectivamente).

Esta efectividad es similar entre ambos protocolos de recuperación puesto que no se registraron diferencias significativas ($p > .05$) entre ambos grupos de tratamiento en ninguno de los momentos de medición. Por otra parte, se registró que el grupo control presenta una disminución significativa ($p < .001$) en la percepción del dolor muscular a las 24 horas con respecto a la medición posfatiga; sin embargo, el nivel del dolor muscular aumenta nuevamente a las 48 horas a niveles cercanos a la condición posfatiga en este grupo. En resumen, tanto el grupo de inmersiones continuas como intermitentes, reportaron niveles de dolor muscular significativamente menores ($p < .001$) tanto a las 0 horas 24 y 48 horas con respecto al dolor registrado al final del protocolo de fatiga.



Nota: *: Diferencia significativa con respecto a la medición 0 hrs o posterior al tratamiento.

Figura 4. Comparación inter e intra grupo para la variable percepción del nivel de recuperación por momento de medición.

La figura 4, muestra el contraste entre grupos por momento de medición para la variable percepción del nivel de recuperación, donde se registró interacción entre ambos factores ($F(6, 111) = 2.49$, $p = .027$, $\omega_p^2: .070$), esto indica que los puntajes del nivel de recuperación percibida variaron en un 7% producto del tratamiento, lo cual representa un tamaño de efecto moderado.

El análisis mostró que tanto el grupo de inmersiones continuas como el grupo de inmersiones intermitentes presentan diferencias significativas con respecto al grupo control en todos los momentos de medición posteriores al protocolo de recuperación ($p < .05$). Para la medición 0 horas se encontró diferencias significativas ($p = .003$) entre el grupo control y el grupo de inmersiones continuas, esto mismo ocurrió entre el grupo control y el grupo de inmersiones intermitentes ($p < .001$). Lo que se interpreta según escala del nivel de recuperación percibida que el grupo control en este momento se encontraba razonablemente recuperado y los grupos de tratamiento estaban bien recuperados. Para las 24 horas también se evidenció diferencias significativas entre el grupo control y el grupo de inmersiones continuas ($p < .001$) y el grupo de inmersiones intermitentes ($p = .007$). Este mismo comportamiento se registró a las 48 horas posteriores al tratamiento entre el grupo control y el grupo de inmersiones continuas ($p < .007$), así como entre el grupo control y el grupo de inmersiones intermitentes ($p = .005$). Estos datos indican que tanto a las 24 como a las 48 horas posteriores al tratamiento el grupo control puntuaba según escala en mal recuperado contra un bien recuperado de los grupos experimentales.

Estos resultados indican que ambos protocolos de recuperación aumentan el nivel de recuperación percibido con respecto a la condición control (reposo sentado). Esta efectividad es similar entre ambos protocolos de recuperación puesto que no se registraron diferencias significativas ($p > .05$) entre ambos grupos de tratamiento.

También mostró que el grupo control presenta una disminución significativa ($p < .001$) en el nivel de recuperación percibida a las 48 horas con respecto a la medición posfatiga, lo que indica que su nivel de recuperación empeoró pasando de razonablemente recuperado a las 0 horas a un nivel de mal recuperado a las 48 horas.

Resultados de las variables fisiológicas

En relación con lo planteado en las hipótesis dos y tres, en cuanto a los factores fisiológicos del proceso de recuperación se presentan los resultados obtenidos en el presente estudio.

Tabla 2.

Comparación de las variables temperatura promedio y temperatura máxima de la piel en muslo según grupo por momento de medición.

Variable	G. Control (n=14)			G. Inm. Cont. (n=13)			G. Inm. Interm. (n=13)		
	Pre	24hrs.	48hrs	Pre	24hrs.	48hrs.	Pre	24hrs.	48hrs.
Tem. Prom. Dm. Ant.	31.0 ± 0.7	31.0 ± 0.6	31.0 ± 0.6	30.8 ± 0.9	30.9 ± 0.8	30.6 ± 0.8	31.2 ± 0.5	31.1 ± 0.4	31.1 ± 0.6
Tem. Prom. Dm. Pos.	30.6 ± 1.1	31.1 ± 0.7	31.1 ± 0.8	30.9 ± 0.7	30.9 ± 1	30.8 ± 0.8	31.1 ± 0.7	31.2 ± 0.8	31.1 ± 0.7
Tem. Máx. Dm. Ant.	33.8 ± 1.1	33.5 ± 1.1	34.2 ± 0.9	33.9 ± 0.9	33.4 ± 1.4	33.9 ± 0.8	33.8 ± 0.8	33.7 ± 0.8	33.6 ± 0.8
Tem. Máx. Dm. Post.	33.1 ± 1.5	33.3 ± 1.2	33.2 ± 0.8	33.5 ± 1.1	33.3 ± 0.7	33.8 ± 1.9	33.1 ± 1.2	33.5 ± 0.9	33.5 ± 1
Tem. Prom. ND. Ant.	30.9 ± 0.6	31.0 ± 0.6	31.0 ± 0.6	30.8 ± 0.9	30.9 ± 0.8	30.7 ± 0.8	31.1 ± 0.6	31.1 ± 0.4	31.1 ± 0.7
Tem. Prom. ND. Pos.	30.6 ± 1.1	31.1 ± 0.7	31.1 ± 0.9	30.9 ± 0.7	30.9 ± 1	30.7 ± 0.9	30.9 ± 0.9	31.2 ± 0.7	31.2 ± 0.7
Tem. Máx. ND. Ant.	33.5 ± 1	33.4 ± 1	34.1 ± 0.9	33.8 ± 0.8	34 ± 2.1	33.9 ± 1	33.9 ± 0.9	33.6 ± 0.9	34.0 ± 1
Tem. Máx. ND. Post.	33.0 ± 1.4	33.5 ± 1.4	33.1 ± 0.9	33.2 ± 1	33.2 ± 0.7	33.3 ± 0.7	33.2 ± 1.3	33.5 ± 1	33.6 ± 1.1

Nota: Tem: temperatura, Prom: promedio, Máx.: máxima. Dm: hemisferio dominante, ND: hemisferio no dominante, Ant: anterior, Pos: posterior, Inm: inmersiones, hrs: horas.

La tabla 2, muestra el contraste entre grupos por momento de medición para las variables temperatura promedio y temperatura máxima de la piel a nivel del muslo. No se registró interacción entre los factores grupo y momento de medición en la variable temperatura promedio de la piel en la cara anterior del muslo del hemisferio dominante ($F(4,74) = 0.66, p = .62, \omega_p^2 = .017$), tampoco en el caso de la medición realizada en el plano posterior del lado dominante ($F(4,74) = 1.12, p = .35, \omega_p^2 = .006$). En el caso de las mediciones realizadas en el muslo del hemisferio no dominante tampoco se registró interacción ni en la medición en el plano frontal (F

(4,74) = 0.27, $p = .89$, $\omega_p^2 = .038$), ni para el caso del plano posterior ($F(4,74) = 1.12$, $p = .31$, $\omega_p^2 = .006$). Este mismo comportamiento se registró para la variable temperatura máxima, siendo que a nivel frontal del lado dominante no se encontró interacción ($F(4,74) = 0.89$, $p = .47$, $\omega_p^2 = .005$), en el caso de la cara posterior del lado dominante tampoco se registró interacción ($F(4,74) = 0.54$, $p = .70$, $\omega_p^2 = .023$). Para las mediciones realizadas en el plano anterior de pierna no dominante no se evidenció la presencia de interacción ($F(4,74) = 0.68$, $p = .64$, $\eta^2 = .016$), lo mismo ocurrió en la medición realizada en el plano posterior ($F(4,74) = 0.70$, $p = .59$, $\omega_p^2 = .015$). Estos datos indican que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p > .05$) entre los grupos en ninguno de los momentos de comparación.

Tabla 3.

Comparación del tiempo de contracción muscular en milisegundos del recto femoral y del bíceps femoral según grupo y por momento de medición.

Variable	G. Control (n=14)			G. Inm. Cont. (n=13)			G. Inm. Interm. (n=13)		
	Pre	24hrs.	48hrs.	Pre	24hrs.	48hrs.	Pre	24hrs.	48hrs.
TC. RF. Dom	28.7 ± 4.9	28.2 ± 5.2	28.5 ± 5.4	28.2 ± 5	30 ± 4	30.3 ± 3.9	28.4 ± 4.2	29.1 ± 5	29.9 ± 5.5
TC. RF. ND.	27.8 ± 5.1	29.5 ± 6.7	29.9 ± 7.4	29.7 ± 4.5	31.2 ± 4.5	30.8 ± 3.7	27.9 ± 3.7	28.4 ± 3.6	28.5 ± 4.4
TC. BF. Dom	28.4 ± 4.3	29 ± 4.85	26.3 ± 5.8	28.4 ± 7.5	26.5 ± 6.4	27.8 ± 6.9	28.7 ± 7.1	28.4 ± 7.2	27.2 ± 5.1
TC. BF. ND.	27.1 ± 5.5	27.8 ± 7.2	26.3 ± 5.9	30.5 ± 6.3	30.1 ± 8.5	29.6 ± 6.	26.1 ± 5.9	27.2 ± 8.3	27.3 ± 6.2

Nota: TC: tiempo de contracción, RF: recto femoral, BF: bíceps femoral, Dom: hemisferio dominante, ND: hemisferio no dominante, Inm: inmersiones, hrs: horas.

La tabla 3, muestra el contraste entre grupos por momento de medición para la variable tiempo de contracción tanto a nivel del bíceps femoral y del recto femoral. En el análisis no se registró interacción entre los factores grupo y momento de medición en el caso

del tiempo de contracción a nivel del recto femoral del lado dominante ($F(4,74) = 1.49, p = .21, \omega_p^2 = .024$), lo mismo ocurrió a nivel del hemisferio no dominante ($F(4,74) = 0.40, p = .80, \omega_p^2 = -.031$). En lo referente al bíceps femoral tampoco se registró interacciones en el lado dominante ($F(4,74) = 1.26, p = .29, \omega_p^2 = .012$), ni en el lado no dominante ($F(4,74) = 0.46, p = .76, \omega_p^2 = -.028$). Estos resultados indican que los protocolos de inmersión aplicados no contribuyeron significativamente en la recuperación del tiempo de contracción como indicador de función neuromuscular.

Tabla 4.

Comparación del desplazamiento radial muscular en milímetros del recto femoral y del bíceps femoral según grupo y por momento de medición.

Variable	G. Control (n=14)			G. Inm. Cont. (n=13)			G. Inm. Interm. (n=13)		
	Pre	24hrs.	48hrs.	Pre	24hrs.	48hrs.	Pre	24hrs.	48hrs.
DRM.RF. Dom.	7.1 ± 2.0	6.1 ± 1.9	6.0 ± 1.8	7.1 ± 2.5	6.8 ± 1.9	7.0 ± 2.1	6.7 ± 3.1	6.0 ± 3	6.4 ± 2.9
DRM.RF. ND.	6.7 ± 2.3	5.9 ± 2.2	5.9 ± 2.1	8.6 ± 2.9	8.0 ± 2.5	8.8 ± 2.8	7.7 ± 3	7.1 ± 3	7.2 ± 2.8
DRM.BF. Dom.	3.1 ± 1.4	3.0 ± 1.6	2.7 ± 1.9	4.5 ± 2.6	3.9 ± 1.9	4.2 ± 2.37	3.9 ± 1.3	4 ± 1.6	3.4 ± 1.8
DrM.BF. ND.	2.8 ± 1.2	2.7 ± 1.2	2.2 ± 1.1	3.7 ± 1.7	3.6 ± 1.6	4.0 ± 1.4	4.3 ± 1.8	4.5 ± 1.8	4.3 ± 1.6

Nota: DRM: desplazamiento radial muscular, RF: recto femoral, BF: bíceps femoral, Dom: hemisferio dominante, ND: hemisferio no dominante, Inm: inmersiones, hrs: horas.

La tabla 4, muestra el contraste entre grupos por momento de medición para la variable desplazamiento radial muscular tanto a nivel del bíceps femoral como del recto femoral. El análisis no mostró interacción entre los factores grupo y momento de medición en el caso del tiempo de desplazamiento muscular a nivel del recto femoral del hemisferio dominante ($F(4,74) = 1.31, p = .27, \omega_p^2 = .015$),

ni en el lado no dominante ($F(4,74) = 0.96$, $p = .43$, $\omega_p^2 = -.002$). En lo referente al bíceps femoral se observó el mismo comportamiento, es decir, la no presencia de interacción entre los factores tanto a nivel de hemisferio dominante ($F(4,74) = 0.64$, $p = .63$, $\omega_p^2 = -.018$), ni en el lado no dominante ($F(4,74) = 1.40$, $p = .24$, $\omega_p^2 = .019$).

Tabla 5.

Comparación de la altura del salto en centímetros en la prueba de salto en contramovimiento entre grupos según momento de medición.

Grupo	Momento de medición			
	Pre	0hrs	24hrs.	48hrs.
Control	34.4 ± 5.8	31.2 ± 7	33 ± 5.7	32 ± 5.7
Inm. Continuas	36.8 ± 5	32.3 ± 6.7	34.4 ± 6.2	34.4 ± 5.9
Inm. Interm.	36.6 ± 5.5	31.2 ± 4.4	34.1 ± 6	32.8 ± 6

Nota: Inm: inmersiones, hrs: horas.

La tabla 5, muestra el contraste entre grupos por momento de medición para la variable altura del salto en contramovimiento. El análisis realizado no mostró interacción entre los factores grupo y momento de medición ($F(6.111) = 0.43$, $p = .85$, $\omega_p^2 = .029$), por lo tanto no se encontraron diferencias significativas entre grupos en la variable altura del salto en centímetros para ninguno de los momentos de comparación. Lo anterior indica que los protocolos de inmersión tanto continuo como intermitente no contribuyeron en la recuperación en cuanto a la capacidad de salto se refiere.

Sin embargo, se evidenció diferencias significativas ($F(3) = 14.13$, $p < .001$) en el factor momento de medición, manifestándose este comportamiento a lo interno de cada grupo de la siguiente manera. La altura del salto en el grupo control fue significativamente menor a las 0 horas y 48 horas posteriores al tratamiento con respecto a la medición pre ($p = .028$, $p = .030$) respectivamente. En el caso del grupo de inmersiones continuas, la altura del salto a las 0, 24 y 48 horas posteriores al tratamiento fue significativamente menor que el salto realizado previo al protocolo ($p = .004$, $p = .018$, $p = .033$) respectivamente. Este mismo comportamiento estuvo presente en el grupo de inmersiones intermitentes, ($p = .001$) a las 0 horas, ($p = .015$) a las 24 horas y ($p = .001$) a las 48 horas postratamiento con respecto a la medición pre.

Tabla 6.

Comparación del volumen muscular (ml) del muslo entre grupos según momento de medición.

Grupo	Momento de medición			
	Pre	0hrs.	24hrs.	48hrs.
Control	9247,2 ± 1867,8	9986,9 ± 1776,4	9829,1 ± 1823,9	9764,7 ± 1833,1
Inm. Continuas	8812,8 ± 1336,5	9227,4 ± 1224,4	9189,7 ± 1039,4	9096,5 ± 976,7
Inm. Interm.	9178,6 ± 1507,8	9391,7 ± 1484,6	9457,5 ± 1537,6	9477,8 ± 1594,5

Nota: Inm: inmersiones, hrs: horas.

La tabla 6, muestra el contraste entre grupos por momento de medición para la variable volumen muscular. El análisis no evidenció interacción entre los factores grupo y momento de medición ($F(6,111) = 1.79, p = .13, \omega_p^2 = .036$), por lo tanto no se encontraron diferencias significativas entre grupos en la variable volumen muscular para ninguno de los momentos de comparación. Lo anterior indica que los protocolos de inmersión tanto continuo como intermitente no contribuyeron en la recuperación en cuanto a la disminución del volumen muscular se refiere, es decir no contribuye de manera significativa a la disminución del edema muscular.

No obstante, se encontró diferencias significativas en cuanto al factor momento de medición fue significativo ($F(3) = 18.22, p < .001$), las mismas se evidenciaron en el grupo control donde los volúmenes musculares posteriores al tratamiento siempre fueron mayores a los obtenidos en el momento pre ($p < .001$) para los momentos 0, 24 y 48 horas. Lo mismo ocurrió en el grupo de inmersiones continuas ($p = .013$) a las 0 horas, ($p = .005$) para las 24 horas. En el caso del grupo de inmersiones intermitentes las diferencias significativas con respecto a la medición pre se encontraron solo a las 24 y 48 horas ($p = .03, p = .04$) respectivamente, solo para el caso del grupo de inmersiones continuas a las 48 horas el volumen muscular era similar al volumen previo a la intervención.

Capítulo VI DISCUSIÓN

En este apartado se presenta la discusión de los resultados obtenidos en el estudio realizado en el tercer momento del proceso de la disertación doctoral. El apartado de discusión de las investigaciones efectuadas en el momento 1 y 2 se encuentra en los anexos (1 y 2).

Se procede entonces a discutir los resultados obtenidos, primeramente en las variables de orden de tipo psicológico y posteriormente las de orden fisiológico, para ello se efectúa el contraste de los hallazgos de este estudio con resultados reportados en investigaciones similares para las variables analizadas, además se realiza un abordaje de las posibles explicaciones de los mismos en función de lo planteado en el marco teórico de este documento.

Indicadores psicológicos de recuperación

En relación con lo planteado en las hipótesis uno y tres, en cuanto a los aspectos psicológicos del proceso de recuperación se discuten los resultados obtenidos en el presente estudio para cada variable psicológica analizada.

Lo primero que corresponde es indicar que se acepta las hipótesis uno “*la exposición a inmersiones continuas e intermitentes en agua fría favorece significativamente el proceso de recuperación en aspectos psicológicos*” y se rechaza la hipótesis tres “*la respuesta de los indicadores psicológicos y fisiológicos de recuperación varía significativamente en función del tipo de protocolos de inmersión*”, puesto que dichos protocolos contribuyen significativamente en la disminución del dolor muscular y en el aumento de la percepción del nivel de recuperación, pero la respuesta en estos indicadores psicológicos fue según el protocolo de recuperación fuera este continuo o intermitente.

Percepción del dolor muscular

Los resultados de este estudio mostraron que ambos protocolos de inmersión resultan eficaces para contrarrestar el dolor muscular de aparición tardía (DOMS). El análisis estadístico, indicó que los puntajes del dolor muscular percibido variaron en un 17,4% producto del tratamiento, lo cual representa un tamaño de efecto moderado de acuerdo con lo planteado por Cohen (1988). Estos tamaños del efecto son consistentes con los

reportados en estudios meta analíticos (Leeder et al., 2012; Sánchez- Ureña et al., 2015, Hohenauer, et al., 2015), reportan que las CWI generan efectos positivos en indicadores subjetivos del DOMS a las 24 y 48 horas), donde se reportaron que las inmersiones en agua fría como método de recuperación presentan tamaños del efecto globales moderados y positivos en cuanto a la disminución de la sensación de dolor muscular se refiere. De igual forma concuerda con lo reportado por Machado et al. (2016), quienes reportan un tamaño de efecto significativos tanto de manera inmediata y en el efecto retardado No obstante, difieren de lo reportado en los meta análisis realizados por Murray y Cardinale (2015) y Higgins et al. (2016), quienes reportan que las CWI no tienen efectos significativos en la disminución del DOMS.

Los resultados de este estudio indican que ambos protocolos de inmersión contribuyen con esa magnitud en la explicación de la mejora en la percepción del dolor muscular, recordando que esta mejora se presentó en ambos grupos experimentales en la medición posterior inmediata (0 horas) 24 y 48 horas posterior tratamiento, la cual fue tanto con respecto al grupo control como con su propia percepción manifestada inmediatamente terminado el protocolo de fatiga, el cual cabe señalar contó con un alto componente de contracciones excéntricas, las cuales están claramente relacionadas con el daño muscular sufrido a nivel de la fibra muscular y la unión musculotendinosa.

Estos resultados refuerzan el planteamiento del efecto positivo que generan las inmersiones en agua fría sobre este indicador de recuperación, ya que sus picos máximos se presentan a las 24 y 48 horas posterior al ejercicio (Vanshika, 2012). También coinciden con lo reportado en estudios previos ya descritos anteriormente. En cuanto a protocolos de inmersión continua, el ensayo realizado por Bailey et al. (2007), mostró que la percepción del dolor muscular disminuyó de manera significativa a las 1, 24 y 48 horas posteriores al ejercicio en el grupo que fue sometido al proceso de inmersión con respecto al grupo control.

Otros estudios que reportan efectos positivos de las inmersiones continuas en agua fría, Minnett et al. (2014), reportaron diferencias estadísticamente significativas con respecto al grupo control después de someterse a un protocolo de (20 minutos a $10 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$), en las comparaciones realizadas a las 0 horas, una hora y 24 horas después posinmersión.

En el caso de las inmersiones intermitentes, los resultados también concuerdan con lo reportado en estudios previos, Delextrat et al. (2012), quienes evidenciaron niveles de dolor muscular significativamente menores tanto en la medición inmediata al protocolo de inmersión como a las 24 horas posteriores al tratamiento con respecto al grupo control. Igualmente coinciden con lo reportado por Ingram et al. (2009), quienes también registraron diferencias significativas tanto a las 24 como a las 48 horas posteriores al tratamiento en el grupo que recibió inmersiones intermitentes en agua fría, también son consistentes con lo reportado por Pointon et al. (2011), al observar disminuciones significativas a las 24 horas.

Percepción del nivel de recuperación

Los resultados de este estudio mostraron que ambos protocolos de inmersión resultan eficaces para propiciar mejores niveles de recuperación percibida. El análisis estadístico indicó que los puntajes del nivel de recuperación percibida variaron en un 7% producto del tratamiento, lo cual representa un tamaño de efecto moderado según lo planteado por Cohen (1988).

Tanto el grupo de inmersiones continuas como el de inmersiones intermitentes presentaron niveles de recuperación estadísticamente mejores que el grupo control para todos los momentos de medición posterior al protocolo (0, 24 y 48 horas). En todos los casos ambos grupos reportaron nivel que según la escala utilizada se interpretan como bien recuperados con respecto al grupo control que registró en todo momento estar mal recuperado de hecho esta condición empeoró aún más a las 48 horas.

Estos resultados coinciden con lo reportado en estudios previos donde esta variable también fue analizada, en el caso de protocolos de inmersión continua Brophy et al. (2012), reportaron que el grupo de inmersiones continuas (15 min a 15°C) presentaban niveles de recuperación percibida estadísticamente mayores a las 24 horas posfatiga con respecto al grupo control. Resultados similares también fueron reportados por Stanley et al. (2012), al evidenciar un tamaño del efecto por d de Cohen = 0.30 para el nivel de recuperación física percibida, en sujetos sometidos a un protocolo de inmersión continua (5 minutos a $14 \pm 0.6^\circ\text{C}$).

En cuanto a estudios realizados con protocolos intermitentes, los datos también concuerdan con lo reportado por (Delextrat et al., 2012; Nardi et al., 2011; Rowsell et al.,

2011), quienes reportan niveles de recuperación percibida mayores en los grupos experimentales que en los grupos control tanto de manera inmediata a la inmersión como a las 24 horas posteriores a esta.

Dentro de los aspectos fisiológicos que explican los resultados obtenidos en el presente estudio, en cuanto a la disminución del dolor muscular de aparición tardía (DOMS) y el aumento de la percepción del nivel de recuperación están, que de manera conjunta la vasoconstricción y la presión hidrostática dada por la inmersión en agua fría, generan una disminución a la disminución del flujo sanguíneo a nivel periférico y el aumento del flujo sanguíneo a la circulación central (Gabrielsen et al., 1993; Johansen et al., 1997; Stocks, et al., 2004), esto contribuye con el proceso de la hemodilución, por medio del cual se da la movilización de fluidos desde los espacios extravasculares (intracelulares e intersticiales) hacia los compartimentos intravasculares, (Johansen et al., 1997; Stocks et al., 2004), provocando un aumento en el gradiente de presión osmótica en este caso intracelular/extracelular, lo que a su vez facilita la movilización de desechos celulares y tejido necrótico desde los músculos hacia la circulación central (Wilcock et al., 2006).

Ambos procesos (vasoconstricción y presión hidrostática), causan también una disminución de la formación y tamaño del edema muscular (Wilcock et al., 2006, Yanagisawa, Kudo, Takahashi y Yoshioka, 2004), facilitando de esta manera el intercambio de oxígeno entre los capilares y fibras musculares lo cual también contribuye con la recuperación del dolor muscular inducido por ejercicio (Crenshaw, Karlsson, Gerdle y Fridén, 1997).

Otro mecanismo explicativo, es que la exposición al frío ha demostrado la activación potencial del receptor transitorio 8 de la melastatina (TRPM8) (Wang y Siemens, 2015), el cual está relacionados con las sensaciones de dolor y temperatura (Knowlton, Palkar, Lippoldt, McCoy, Baluch, Chen, et al., 2013; Proudfoot, Garry, Cottrell, Rosie, Anderson, et al., 2006), una vez activado el TRPM8 entra en juego el efecto analgésico dado por la acción de inter neuronas inhibitorias de la columna vertebral o directamente en los nocio receptores (Knowlton et al., 2013), mejorando así la percepción del DOMS y aumentando la sensación de recuperación (Ihsan et al., 2016).

También es importante indicar que la exposición al frío genera cambios en los neurotransmisores dopamina y serotonina, estos son los encargados de regular el estado de

ánimo, el sueño, las emociones, la motivación, la percepción del dolor y del nivel de fatiga por lo que el someterse a protocolos de inmersión en agua fría podría contribuir a mitigar la fatiga del SNC Meussen, Watson, Hasegawa, Roeldands, Piacentine, (2006), sugieren que un aumento en la proporción de serotonina/dopamina está asociada con la sensación de cansancio y la rápida aparición de la fatiga, mientras que una baja relación serotonina/dopamina favorece un mejor rendimiento a través del mantenimiento y la activación fisiológica.

Indicadores fisiológicos de recuperación

En relación con lo planteado en las hipótesis uno y tres, en cuanto a los aspectos fisiológicos del proceso de recuperación se discuten los resultados obtenidos en el presente estudio para cada variable fisiológica analizada.

Lo primero que corresponde es indicar que se rechaza las hipótesis dos “*la exposición a inmersiones continuas e intermitentes en agua fría favorece significativamente el proceso de recuperación en aspectos fisiológicos*” y se rechaza la hipótesis tres “*la respuesta de los indicadores psicológicos y fisiológicos de recuperación varía significativamente en función del tipo de protocolos de inmersión*”, puesto que dichos protocolos no contribuyen significativamente en el comportamiento de las variables fisiológicas analizadas y tampoco varían según el protocolo de recuperación fuera de este continuo o intermitente.

Temperatura corporal

Los resultados obtenidos en el presente estudio no reportan efectos significativos en el comportamiento de esta variable producto de los protocolos de inmersión, tanto en la temperatura promedio como en la temperatura máxima a nivel de los muslos, indistintamente la lateralidad y el plano (anterior o posterior). Estos discrepan de lo reportado por otros estudios supracitados y analizados en esta línea (Peiffer et al., 2009a; Peiffer et al., 2009b; Peiffer et al., 2010a; Vailey et al., 2008a; Vailey et al., 2008b; Yeargin et al., 2006). No obstante, debe indicarse que en todos estos estudios los registros de temperatura de la piel, muscular, rectal e intestinal, fue obtenida con dispositivos distintos (termocuplas, sondas, píldoras “CoreTemp”).

Además, que los registros fueron realizados en el margen de tiempo que estos dispositivos así lo permiten, los cuales no sobrepasaron los 60 minutos posinmersión.

También, cabe aclarar que el equipo utilizado en este estudio y por los aspectos propios del protocolo empleado para la medición de la temperatura corporal mediante la termografía, no hizo factible mediciones inmediatas a la inmersión.

Cabe señalar, que tanto por la evidencia de los estudios anteriormente citados y lo evidenciado en el presente estudio en cuanto a las percepciones de dolor y recuperación registradas inmediatamente terminado el protocolo de recuperación, refuerzan la presencia de un efecto inmediato de las inmersiones en agua fría como técnicas de recuperación en la disminución de la temperatura corporal en la fase aguda, indistintamente el protocolo de inmersión utilizado sea este continuo o intermitente.

El comportamiento de esta variable pudo estar asociado en primera instancia a que el hipotálamo se encarga de realizar la labor de termorregulación en función de las señales recibidas desde los termorreceptores centrales como periféricos, de esta manera emplea cada uno de los mecanismos de pérdida o ganancia de calor para mantener la temperatura corporal entre los 36.1 °C a 37.8 °C según corresponda. Estos mecanismos entran en función no solo durante el ejercicio, sino inmediatamente después de este, siendo el mecanismo de la evaporación el empleado principalmente en este caso (80% de la pérdida de calor se da por este medio). Durante la inmersión se utiliza el mecanismo de la convección principalmente dado que el agua tiene una capacidad de convección hasta 20 veces mayor a la del aire. Una vez regularizada la temperatura corporal, cualquier alteración que se genere en ella en estado de reposo, por ejemplo producto del proceso inflamatorio dado por el daño muscular, se emplea el mecanismo de la radiación que permite perder hasta el 60% del calor corporal en estado de reposo (Wilmore y Costill, 2007).

Otro elemento que podría considerarse, es que quizá el protocolo de fatiga al cual fueron sometidos los sujetos, no haya generado el nivel de daño muscular necesario, a pesar que en todos los casos los sujetos manifestaron una percepción del esfuerzo máximo (10) una vez finalizado este, y que ni a las 24 ni 48 horas, para ninguna de las variables los sujetos estaban en sus niveles previos al protocolo de fatiga, esto permitiría suponer que el nivel de daño muscular generado fue considerable. No obstante, de acuerdo con Al-Nakhli, Petrofsky, Laymon y Berk (2012), un cambio significativo en la temperatura de la piel las 24 y 48 horas posteriores al ejercicio se asocian con mayores concentraciones de flujo

sanguíneo en la zona, dado por el edema e inflamación producto del daño muscular, al no registrarse diferencias significativas, se entiende que estas variaciones no se dieron por no ser el nivel de daño muscular causado lo suficientemente fuerte. Marins, Fernández-Cuevas, Arnaiz-Lastras, Fernandes y Sillero-Quintana (2015), indican que los cambios significativos en la temperatura de la piel registrado mediante la termografía se asocian con variaciones superiores a 1°C, en los datos registrados en el presente estudio no se registraron variaciones de esta magnitud en los valores promedio entre los grupos para ningún momento de medición.

Importante mencionar, es que este es para nuestros registros el primer estudio en emplear la termografía como elemento de análisis en la temperatura de la piel a las 24 y 48 horas posteriores en el área de las inmersiones de agua fría como método de recuperación, por lo tanto debe realizarse más estudios en este sentido que permitan ratificar estos hallazgos, mencionando que si bien es cierto que no se registraron diferencias significativas, se registró una tendencia en la presencia de temperaturas cada vez mayores en el grupo control a las 24 y 48 horas con respecto a la medición previas a la fatiga y el tratamiento de recuperación. Otros estudios como el hecho por Grzegorz, Krasowska, Boguszewski y Reaburn (2016), analizan el efecto de las inmersiones en agua fría sobre la temperatura de la piel tanto inmediatamente como a los 30 minutos posterior a terminada la inmersión, pero dieron espacio a que los procesos inflamatorios asociados al daño muscular sucedieran, es decir, entre las 24 y 48 horas.

De conformidad con lo planteado por Al-Nakhli et al. (2012), es necesaria mayor cantidad de estudios con el uso de la termografía en el control aspectos como el flujo sanguíneo y otras variables que ayuden a comprender desde un enfoque más amplio las manifestaciones del DOMS, especialmente por tratarse de una técnica no invasiva y segura para los sujetos.

Función neuromuscular

Tiempo de contracción

Los resultados del presente estudio no evidenciaron diferencias significativas en cuanto al tiempo de contracción muscular como indicador de recuperación, lo anterior ocurrió en los registros realizados tanto en el recto femoral como el bíceps femoral. Estos resultados

coinciden con lo reportado por Rey et al. (2012), quienes analizaron estas variables como indicadores de recuperación, al comparar un grupo de recuperación pasiva con otro de recuperación activa.

En lo referente al uso de este parámetro tensiomiográfico, cabe señalar que solo se conoce un estudio realizado en el área de las inmersiones en agua fría como método de recuperación García- Manzo et al. (2011), quienes en cuanto al tiempo de contracción tampoco registraron diferencias significativas con respecto al valor previo al tratamiento, en la medición realizada inmediatamente finalizada cada una de las cuatro inmersiones de su protocolo.

Los valores registrados tanto a las 24 y 48 horas posteriores al ejercicio en el caso del recto femoral, tienden al aumento del tiempo de contracción lo que indica presencia de fatiga, pero como ya se mencionó esta no fue significativa entre grupos. En el caso del bíceps femoral, de manera contraria se evidencia tendencia a la baja en el tiempo de contracción, a excepción del grupo de inmersiones intermitentes en el cual los registros a las 24 y 48 horas fueron mayores que los valores previos al tratamiento.

Desplazamiento radial muscular

Al igual que ocurrió con el tiempo de contracción muscular, en el desplazamiento radial muscular tampoco se registró diferencias significativas entre grupos para ninguno de los momentos de medición. Estos datos coinciden con los reportados por Rey et al. (2012), quienes no registraron diferencias significativas en el desplazamiento radial muscular entre grupo experimental y el grupo control. Como contraste discrepan de los reportados por García- Manzo et al. (2011), registraron diferencias significativas en el desplazamiento radial muscular después de las inmersiones 3 y 4 realizadas en su ensayo, destacando que acá lo que se midió fue el efecto agudo de la inmersión y no el efecto crónico (24 y 48 horas) como en el presente estudio.

El comportamiento de los datos tensiomiográficos analizados en el presente estudio, indica entre otros aspectos que la respuesta de estas variables están fuertemente asociada a aspectos como el tipo de fibra muscular, el nivel de entrenamiento de los sujetos y por ende a su respuesta individual (Rodríguez-Ruiz et al., 2012). Por otro lado, está el hecho que la exposición al frío causa una reducción en la liberación de calcio desde el retículo sarcoplasmático, lo cual se traduce en una disminución del adenosín trifosfato (ATP)

disponible para la contracción muscular (García- Manzo et al., 2011). A esto debe sumarse el eventual efecto del daño muscular generado, que aunque esté no haya sido de la magnitud esperada, en conjunto se traducen en una capacidad muscular disminuida, en este caso un músculo más lento en contraerse y con una mayor rigidez.

Es evidente la necesidad de mayor cantidad de estudios en este sentido donde los datos sean analizados en función de aspectos como tipo de fibra muscular, el nivel de entrenamiento de los sujetos. Lo anterior, dado que los sujetos participantes en el presente estudio no son sujetos de alto rendimiento y que además son practicantes de distintas disciplinas deportivas ya sea por competencia o como forma de recreación, lo que hace aún más difícil la tipificación de estos elementos que distorsionan en alguna medida la respuesta de estas variables.

Cabe señalar que el presente estudio es el único hasta el momento donde se registran variables tensiomiográficas a las 24 y 48 horas posteriores al tratamiento. Murray y Cardinale (2015), indican en un reciente meta análisis que sin lugar a duda se trata de un instrumento apropiado para el estudio del efecto crónico de las inmersiones en agua fría como método de recuperación.

Capacidad de salto en contramovimiento

Los resultados obtenidos en el presente estudio indican que las inmersiones en agua fría indistintamente del protocolo utilizado no contribuyen significativamente en la recuperación manifestada por capacidad de salto en contramovimiento.

Estos resultados no coinciden con los encontrados en los estudios realizados por (Sánchez-Ureña et al, 2016; Vaile et al., 2008), quienes en sus investigaciones identificaron diferencias significativas entre grupos a las 24 y 48 horas posteriores al tratamiento.

Sin embargo, el comportamiento de los datos obtenidos en el presente estudio, es consistente con lo reportado por la mayoría de estudios donde esta variable también fue analizada, por ejemplo en el ensayo realizado por Montgomery et al (2008), no observaron diferencias significativas en la altura del salto en medición posinmersión entre grupo de inmersiones, el grupo que utilizó medias de compresión y el grupo control, por su parte Nardi et al. (2011), reportaron diferencias significativas entre grupos de inmersión en agua fría y el grupo control (inmersiones en agua termo neutral). En el caso de registros realizados a las 24 horas Pournot et al. (2011), no encontraron diferencias significativas

entre grupos. En su estudio Ascensao et al. (2011), reportan diferencias significativas entre grupos a las 24 horas, pero en este caso los valores del grupo de inmersiones fueron incluso menores al grupo de inmersiones termo neutrales, es decir, reportaron un efecto perjudicial de las inmersiones en agua fría. Para el caso de protocolos intermitentes Rowsell et al. (2009), tampoco reportaron diferencias significativas entre grupo en los momentos de medición posteriores al tratamiento.

Un reciente estudio meta analítico reporta un efecto bajo y negativo de las inmersiones en agua fría sobre la capacidad de salto a las 24 horas (ES = -0.30 , $[-0.96, 0.35]$) Murray y Cardinale (2015). Por su parte Higgins, et al. (2016), también reportan que las CWI no presentaron tamaños del efecto significativos en variables como el salto CMJ a las 24 horas. ($p= 0.05$, CI $-0.004 - 0.578$).

Para explicar el comportamiento de los resultados obtenidos, es importante señalar que de acuerdo con Takeda et al. (2014), el CMJ habitualmente ha sido considerado como un indicador del rendimiento neuromuscular, puesto que después del daño muscular inducido por ejercicio, una disminución en CMJ es el resultado de la función y eficiencia neuromuscular comprometida, debido a la reducción tanto de la frecuencia como de la intensidad con que el impulso nervioso llega al músculo (Todd y Gandevia, 2006). Sin embargo, (Higgins, et al., 2016; Pruscino, Halson y Hargreaves, 2013), señalan que la recuperación de la función neuromuscular no solo depende de aspectos relacionados a disminuir del daño inducido por el ejercicio, sino que también está influenciada por otros factores fisiológicos como: la activación muscular, la coordinación muscular, el nivel de reclutamiento de fibras en la placa motora por parte del sistema nervioso. Por su parte, (Higgins, Climstein y Cameron, 2013; Rowsell, et al., 2011), indican que la recuperación del daño muscular inducido por ejercicio se ve influenciado por aspectos como el nivel de entrenamiento, la capacidad adaptación.

En cuanto a aspectos psicológicos, (Buchheit, Horobeanu, Mendez-Villanueva, Simpson y Bourdon, 2011; Dawson, et al., 2005; Higgins, Climstein y Cameron, 2013; Rowsell, et al., 2011), mencionan que el CMJ puede no ser lo suficientemente sensible para evaluar la recuperación de la función neuromuscular en atletas entrenados, dado que estos se ven influenciados por factores de tipo psicológico como: un alto nivel de motivación, la competitividad, la tolerancia al esfuerzo y al dolor

que tienen los sujetos entrenados, que les permite rendir adecuadamente a la hora realizar esfuerzos máximos en la ejecución de una prueba CMJ.

Volumen y edema muscular

Pese a que en todos los momentos de medición posteriores al tratamiento, el volumen muscular a nivel del muslo fue menor en los grupos de inmersiones con respecto al grupo control, los resultados obtenidos en el presente estudio indican que las inmersiones en agua fría sean estas continuas o intermitentes no generan efectos significativos sobre la disminución del edema producto del daño muscular inducido por ejercicio.

Estos resultados discrepan únicamente con lo reportado por Vaile et al. (2008c), quienes sí reportaron disminuciones significativas del edema muscular medido por circunferencia del muslo medio, aunque en ese mismo estudio la presencia de la IL-6 no registraron cambios significativos.

Los datos obtenidos en este estudio coinciden con lo reportado por Goodall y Howatson (2008), quienes también observaron que las inmersiones continuas no disminuyeron significativamente el edema medido a las 24, 48 y 72 horas posteriores al tratamiento, reportes similares fueron dados por Montgomery et al. (2012), quienes bajo un protocolo de inmersión continua no registraron disminuciones significativas del edema muscular en la medición posterior inmediata, destacando que, al igual que en los resultados del presente estudio estos autores señalan que el indicador de edema (circunferencia del muslo) varió menos a lo largo del torneo en el grupo de inmersiones en agua fría que en el grupo de medias de compresión y el grupo control.

Estos resultados pudieron estar influenciados por los factores que intervinieron en el comportamiento de la temperatura de la piel, en tanto ambas variables buscan analizar la presencia de edema muscular, sin dejar de lado que la variable volumen muscular fue registrada mediante mediciones indirectas como la medición de la circunferencia del muslo en distintas alturas, lo que aumenta la imprecisión de estas pese a ser evaluadas en todo momento por el mismo evaluador.

En la globalidad de las variables analizadas, los resultados obtenidos indican entonces un efecto positivo y significativo sobre los indicadores psicológicos de recuperación como el DOMS y la percepción del nivel de recuperación, coincidiendo con lo reportado en los meta análisis realizados (Leeder et al., 2012; Machado et al., 2016; Sánchez- Ureña et al.,

2015). También concuerdan en cuanto al comportamiento de los indicadores fisiológicos de recuperación con lo reportado por Higgins et al., (2016), Hohenauer et al., (2015); Murray y Cardinale (2015) en sus respectivos meta análisis. Ante estos resultados, se considera que los hallazgos obtenidos deben ser interpretados con cautela para darles el uso pertinente, por ejemplo en torneos donde se compite a diario, como torneos regionales de baloncesto, competencias cada 72 horas por ejemplo torneos continentales de fútbol como la Copa América y la Eurocopa, contar con estrategias de recuperación que generen sensaciones positivas en los deportistas, en este caso una menor sensación de dolor y una mayor percepción de recuperación, se torna sumamente valioso, puesto que en tan breves periodos de recuperación es poco lo que se puede hacer en términos fisiológicos.

El uso de las inmersiones como método de recuperación no debe desestimarse, puesto que la recuperación es un proceso multi factorial y holístico, además que la fatiga tiene distintas manifestaciones y por ende deberá contarse con una estrategia de recuperación que contribuya a mitigar cada una de ellas (Terrados y Calleja-González, 2010). Por tanto, un protocolo de recuperación deberá contar con estrategias dirigidas a controlar la depleción de sustratos energéticos, la resíntesis proteica, la remodelación muscular, la rehidratación, el afrontamiento de la situación sea esta la victoria o la derrota, mitigar las manifestaciones del dolor muscular de aparición tardía y propiciar la sensación de recuperación, sobre estos dos últimos puntos los protocolos utilizados en el presente estudio indican ser igualmente efectivos. Quedando a criterio de los entrenadores, preparadores físicos y atletas el tipo de protocolo que mejor le ayude sea este continuo o intermitente, lo anterior en función de su repuesta individual ante cada uno de ellos.

Capítulo VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se procede en este apartado a brindar las conclusiones del proceso de disertación doctoral, para ello estas se brindan en primera instancia las conclusiones para este tercer estudio y en segunda las pertinentes a todo el proceso en general.

Conclusiones del estudio

- Tanto el protocolo de inmersiones continuas como intermitentes mostraron ser efectivos sobre los indicadores psicológicos de recuperación analizados, es decir, sobre la disminución del dolor muscular y el aumento de la percepción del nivel de recuperación, por tanto su uso queda a juicio de cuerpos técnicos y deportistas, según aspectos como la respuesta individual a cada tipo de inmersión y ver cuál le genera mejores resultados.
- Dado que las estrategias de recuperación son promovidas por la necesidad contemporánea de contar con el deportista en el mejor estado posible para la próxima competencia la cual ronda en el marco de las 48-72 horas, el contar con una herramienta que permita disminuir la sensación de dolor y aumente la sensación de estar mejor recuperado, el uso de las inmersiones en agua fría tiene aportes importantes dentro de cualquier protocolo de recuperación.
- Los protocolos de inmersión utilizados en el presente estudio no evidenciaron efectos positivos sobre los indicadores fisiológicos empleados en la investigación, destacando que tanto los métodos como la termografía y la tensiomiografía son utilizados por primera vez en el área del uso de las inmersiones como método de recuperación, por tanto se hace necesario mayor cantidad de estudios en esta línea que ratifiquen los resultados acá obtenidos.
- Se debe continuar en la línea de estudios que comparen protocolos de inmersión continua e intermitente, de manera que los resultados acá obtenidos en los indicadores psicológicos se refuercen, y que aclaren sobre los indicadores fisiológicos analizados y se conozcan sus efectos sobre los ya supracitados indicadores sanguíneos.

Conclusiones generales:

- El proceso de recuperación de los deportistas debe concebirse como un fenómeno integral donde tantos aspectos psicológicos como fisiológicos tienen sus manifestaciones y por ende deberá prestársele atención en su globalidad.
- Existen aspectos internos y externos al contexto deportivo que juegan un papel determinante en el estado de recuperación del deportista, específicamente en cuanto al perfil estrés-recuperación se refiere.
- Abordar los procesos de recuperación de una manera integral permite conocer e identificar los distintos aspectos que intervienen y por ende el desarrollar los mecanismos y estrategias tanto psicológicas como fisiológicas dirigidas a minimizarlos en pro de potencializar los estados de recuperación, previniendo de esta manera los estados de sobrecarga disfuncional y la presencia de síndrome de sobreentrenamiento.
- Es fundamental hacer partícipe al deportista de los procesos de recuperación, en tanto los protocolos, las estrategias o métodos empleados tendrán una mejor acogida por parte del deportista, si este conoce y se encuentra informado del porqué y para qué de todo esto, sin olvidar contar con un espacio de realimentación por parte del deportista sobre sus propias impresiones.
- Los protocolos de recuperación deben estar diseñados en función de las manifestaciones (tipos) de fatiga a las cuales está expuesto el deportista; por ende, no existe un único método o estrategia que permita mitigar todos los efectos de la fatiga.
- Los resultados obtenidos en el trabajo meta analítico realizado, sumado a los resultados obtenidos en el estudio experimental, ratifican el efecto positivo y significativo que tienen las inmersiones en agua fría sobre la sensación de dolor muscular y la percepción del nivel de recuperación.

Recomendaciones

De orden conceptual

- Los especialistas en ciencias del movimiento humano con afinidad al estudio de los procesos de recuperación posteriores a las competencias y posteriores al entrenamiento, deben considerarlo como un proceso multifactorial y por ende darle a este un abordaje holístico, donde el enfoque psicofisiológico es fundamental para propiciar y desarrollar los mejores protocolos y estrategias de recuperación del deportista.
- Desarrollar estrategias y métodos enfocados en la educación del deportista hacia un uso adecuado del periodo de recuperación y todo lo que durante este debe ejecutarse y evitarse para potenciar los mayores niveles de recuperación para el siguiente entrenamiento o competencia.

De orden metodológico

- Realizar estudios similares a este, en la medida de lo posible con deportistas de alto rendimiento, de especialidades deportivas claramente tipificadas, para conocer los resultados en función de estas demandas particulares de cada deporte, donde además se incluya el análisis de indicadores sanguíneos de recuperación.
- Investigar las posibles combinaciones de tiempos y ciclos en las inmersiones intermitentes, para conocer si sus efectos varían en función de la relación frío-termo neutral.
- Realizar más estudios en cuanto a la posición del sujeto durante la inmersión (sentado o de pie), así como sobre la pasividad o actividad durante la misma, dado que el proceso de revisión de información durante este proceso destacó la necesidad de mayor cantidad de evidencia en este sentido.
- Realizar investigaciones que incluyan la medición de indicadores sanguíneos como la creatine kinasa, la lactato deshidrogenasa, proteína C-reactiva e interleucina IL-6, los cuales son indicadores de daño muscular e inflamación respectivamente, que permitieran un mejor análisis de los efectos fisiológicos de los protocolos utilizados y

la posible correlación de la respuesta de estos indicadores sanguíneos con el resto de las variables fisiológicas contempladas en el presente trabajo.

De orden práctico

- Identificar claramente el tipo de fatiga causado por cada una de las modalidades deportivas, para desarrollar protocolos de recuperación integral que contengan distintas estrategias con al menos una para cada manifestación de la fatiga.
- Utilizar las inmersiones en agua fría como estrategia de recuperación dirigida a mitigar las manifestaciones del dolor muscular de aparición tardía, así como propiciar mejores sensaciones del nivel de recuperación.
- Capacitar en el uso de métodos y estrategias de recuperación tanto a los profesionales vinculados como a los deportistas de alto rendimiento en Costa Rica, para que hagan uso del conocimiento en esta línea y puedan mejorar sus procesos de entrenamiento potenciando el rendimiento deportivo.
- Crear en la Universidad Nacional de Costa Rica un laboratorio de recuperación en el cual se genere evidencia empírica sobre los distintos métodos de recuperación, de manera que este conocimiento oriente el trabajo a realizar con los distintos entes deportivos a nivel nacional.

Referencias

- Abbiss, C.R., y Laursen, P.B. (2005). Models to explain fatigue during prolonged endurance cycling. *Sports Med*,35(10),865–98. Doi: 10.2165/00007256-200535100-00004.
- Al Haddad, H., Laursen, P., Chollet, D., Lemaitre, F., Ahnire, S., y Buchheit, M. (2010). Effect of cold or thermo neutral water immersion on post-exercise heart rate recovery and heart rate variability indices. *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical*, 156, 111–116. Doi:10.1016/j.autneu.2010.03.017.
- Al Haddad, H., Parouty, J., y Buchheit, M. (2012). Effect of daily cold water immersion on heart rate variability and subjective ratings of well-being in highly trained swimmers. *Int J Sports Physiol Perform*,7(1),33–8. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/51664515_Effect_of_daily_cold_water_immersion_on_heart_rate_variability_and_subjective_ratings_of_well-being_in_highly-trained_swimmers.
- Allen, D.G., Lamb, G.D., y Westerblad, H.(2008). Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiol Rev*, 88(1),287–332. Doi: 10.1152/physrev.00015.2007.
- Al-Nakhli, H.H., Petrofsky, J.S., Laymon, M.S y Berk, L.S.(2012). The use of thermal infra-red imaging to detect delayed onset muscle soreness. *J Vis Exp*,59. Doi:10.3791/3551.
- American College of Sports Medicine. (2014). ACSM Guidelines for Exercise Testing and Prescription. Baltimore: Lippincott Williams and Wilkins.
- Bailey, D.M., Erith, S.J., Griffin, P.J., Dowson, A., Brewer, D.S., Gant, N., y Williams, C. (2007). Influence of cold-water immersion on indices of muscle damage following prolonged intermittent shuttle running. *Journal of Sports Sciences*, 25,1163-70. Doi: 10.1080/02640410600982659.
- Bastos, F.N., Vanderlei, L.C., Nakamura, F., Bertollo, M., Godoy, M.F.,..., Pastre, C.M. (2012). Effects of cold water immersion and active recovery on post-exercise heart rate variability. *Int J Sports Med*,33(11):873–9. Doi: 10.1055/s-0032-1301905.
- Benítez-Jiménez, A., Fernández-Roldán, K., Montero-Doblas, J.M., y Romacho-Castro, J.A. (2013). Fiabilidad de la tensiomiografía (TMG) como herramienta de valoración muscular / Reliability of tensiomiography (TMG) as a muscle assessment tool. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad*

- Física y el Deporte, 13(52), 647-656. Recuperado de <http://cdeporte.rediris.es/revista/revista52/artfiabilidad398.htm>.
- Bieuzen, F. (2013). *Water Immersion Therapy*. En Hausswirts. C. y Mujika. I. *Recovery for performance in sport* (pp.191-201). Champaing: Human Kinetics.
- Bieuzen, F., Bleakley, C.M., y Costello, J.T. (2013). Contrast water therapy and exercise induced muscle damage: A systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE*, 8(4), 1-15. Doi: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0062356>.
- Borg, G. (1973). Perceived exertion: a note on 'history' and methods. *Med Sci Sports*,5, 90-3. Recuperado de http://journals.lww.com/acsm-msse/Abstract/1973/00520/Perceived_exertion__a_note_on__history__and.17.aspx.
- Bleakley, Ch., y Davison, G. (2010). What is the biochemical and physiological rationale for using cold-water immersion in sports recovery? A systematic review. *British Journal Sports Medicine*, 44, 179–187. Doi: 10.1136/bjism.2009.065565.
- Bosco, C. (1994). *La valoración de la fuerza con el test de Bosco*. Barcelona, España: Ed. Paidotribo.
- Brophy-Williams, N., Landersm G., y Wallmanm K. (2011). Effect of immediate and delayed cold water immersion after a high intensityexercise session on subsequent run performance. *J Sports Sci Med*,10,665–70. Recuperado de <http://www.jssm.org/vol10/n4/10/v10n4-10text.php>.
- Buchheit, M., Peiffer, J.J., Abbiss, C.R., y laursen, P.B. (2009). Effect of cold water immersion on postexercise parasympathetic reactivation. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*,296(2), H421–7. Doi: 10.1152/ajpheart.01017.2008.
- Buchheit, M., Horobeanu, C., Mendez-Villanueva, A., Simpson, B.M., y Bourdon, P.C.(2011). Effects of age and spa treatment on match running performance over two consecutive games in highly trained young soccer players. *Journal of Sports Sciences*,29(6), 591-98. doi: 10.1080/02640414.2010.546424.
- Burgess. T., y Lambert, M. (2010). The efficacy of cryotherapy on recovery following exercise-induced muscle damage. *International Sport Medicine Journal*, 11(2), 258-277. Recuperado de

<http://eds.b.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?sid=ad1df142-88b2-4a72-b0aa-55b74c6b5c3f%40sessionmgr105&vid=1&hid=120>.

- Byrne, C., Twist, C., y Eston, R. (2004). Neuromuscular function after exercise-induced muscle damage. *Sports Medicine*, 34(1), 49-69. Doi: 0112-1642/04/0001-0049/\$31.00/0
- Castellani, J., y Young, A. (2016). Human physiological responses to cold exposure: Acute responses and acclimatization to prolonged exposure. *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical*, 19, 63–74. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autneu.2016.02.009>.
- Chen, T., y Hsieh, S. (2000). The effects of repeated maximal voluntary isokinetic eccentric exercise on recovery from muscle damage. *Res Quarterly for Exerc and Sport*, 17(3), 260–288. Doi: <http://dx.doi.org/10.1080/02701367.2000.10608906>.
- Cheung, K., Hume, P.A. y Maxwell, L. (2003). Delay onset muscle soreness: treatment strategies and performance factors. *Sports Medicine*, 33(2), 145-164. Recuperado de http://www.researchgate.net/publication/8075169_Delayed_onset_muscle_soreness_Treatment_strategies_and_performance_factors.
- Cheung, S.S., y Sleivert, G.G. (2004). Multiple triggers for hyperthermic fatigue and exhaustion. *Exerc Sport Sci Rev*, 32(3), 100–6. Recuperado de http://journals.lww.com/acsm-essr/Fulltext/2004/07000/Multiple_Triggers_for_Hyperthermic_Fatigue_and.5.aspx.
- Cochrane, D.J. (2004). Alternating hot and cold water immersion for athlete recovery: a review. *Phys Therapy Sport*, 5, 26–32. Doi: 10.1016/j.ptsp.2003.10.002.
- Coffey, V., Leveritt, M., y Gill, N. (2004). Effect of recovery modality on 4-hour repeated treadmill running performance and changes in physiological variables. *Journal Science of Medicine Spor*, 7(1), 1–10. Doi: 10.1016/S1440-2440(04)80038-0.
- Cohen J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. New York, NY: Routledge Academic.
- Corbett, J., Barwood, M.J., Lunt, H.C., Milner, A., y Tipton, M.J. (2012). Water immersion as a recovery aid from intermittent shuttle running exercise. *Eur J Sport Sci*, 12(6), 509–14. Doi: 10.1080/17461391.2011.570380.

- Cortis, C., Tessitore, A., D'Artibale, E., Meeusen, R., y Caprani, L. (2010). Effects of post-exercise recovery interventions on physiological psychological and performance parameters. *Int J Sports Med*, 31(5), 327–35. doi: 10.1055/s-0030-1248242.
- Crenshaw, A.G., Karlsson, S., Gerdle, B., y Friden, J.(1997). Differential responses in intramuscular pressure and EMG fatigue indicators during low- vs. high-level isometric contractions to fatigue. *Acta Physiol Scand*,160(4),353–61. Doi: 10.1046/j.1365-201X.1997.00168.x
- Crowe, M.J., O'Connor, D., y Rudd, D. (2007). Cold water immersion reduces anaerobic performance. *Int Journal of Sports Medicine*, 28, 994–8. Doi: 10.1055/s-2007-965118.
- Dahmane, R., Djordjevic, S., Simunic, B. y Valencic, V. (2005). Spatial fiber type distribution in normal human muscle Histochemical and tensiomyographical evaluation. *Journal of Biomechanics*, 38, 2451-2459. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.10.020>
- Dawson, B., Gow, S., Modra, S., Bishops, D., y Sterwart, G. (2005). Effects of immediate postgame recovery procedures on muscle soreness. power and flexibility levels over the next 48 hours. *Journal Science of Medicine Sport*,8(2), 210–21. Doi: 10.1016/S1440-2440(05)80012-X.
- Delextrat, A., Calleja-González, J., Hippocrate, A., y Clarke, N.D. (2012). Effects of sports massage and intermittent cold-water immersion on recovery from matches by basketball players. *Journal of Sports Sciences*, 31(1), 11-19. Doi: 10.1080/02640414.2012.719241
- Ditroilo, M., Smith, I. J., Fairweather, M. M., y Hunter, A. M. (2013). Long-term stability of tensiomyography measured under different muscle conditions. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 23(3), 558-563. Doi: 10.1016/j.jelekin.2013.01.014.
- Dvorak, J., Junge, A., Derman, W., y Schwellnus, M. (2011). Injuries and illnesses of football players during the 2010 FIFA World Cup. *Br Journal of Sports Medicine*, 45, 626–630. Doi: 626 10.1136/bjism.2010.079905.
- Elias, GP., Wyckelsma, VL., Varley, M., McKenna, M., y Aughey, R. (2013). Effectiveness of water immersion on postmatch recovery in elite professional

- footballers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8, 243-253. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/230809941_Effectiveness_of_Water_Immersion_on_Post-Match_Recovery_in_Elite_Professional_Footballers
- Enwemeka, CS., Allen. C., Ávila, P., Bina, J., Konrade, J., y Munns, S. (2002). Soft tissue thermodynamics before during and after cold pack therapy. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(1), 45-50. Doi: 10.1097/00005768-200201000-00008.
- Eston, R., y Peters, D. (1999). Effects of cold water immersion on the symptoms of exercise-induced muscle damage. *Journal Sports Science*, 17(3), 231–238. Doi: 10.1080/026404199366136.
- Formenti, D., Ludwing, N., Garcano, M., Gondala, M., Dellerma, N., Caumo, A., y Alberti, G. (2013). Thermal Imaging of Exercise-Associated Skin Temperature Changes in Trained and Untrained Female Subjects. *Annals of Biomedical Engineering*, 41(4), 863–871. Doi: 10.1007/s10439-012-0718-x.
- Gabrielsen, A., Johansen, L.B., y Norsk, P. (1993). Central cardiovascular pressures during graded water immersion in humans. *J Appl Physiol*, 75(2), 581–5. Recuperado de <http://jap.physiology.org/content/75/2/581.long>.
- García-Manso J.M., Rodríguez-Matoso D., Sarmiento S., Y. de Saa, Vaamonde D., Rodríguez-Ruiz D. y da Silva-Grigoletto M.E. (2010). La tensiomiografía como herramienta de evaluación muscular en el deporte. *Revista Andaluz de Medicina del Deporte*. 3(3)98-102. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejvs.2012.04.024>.
- García-Manso, J.M., Rodríguez-Matoso, D., Rodríguez-Ruiz, D., Sarmiento, S., de Saa, Y., y Calderón, J. (2011). Effect of Cold-Water Immersion on Skeletal Muscle Contractile Properties in Soccer Player. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 90(5), 356-363. Doi: 10.1097/PHM.0b013e31820ff352.
- García-Manso, J.M., Rodríguez-Matoso, D., Sarmiento, S., de Saa, Y., Vaamonde, D., Rodríguez-Ruiz, D., y Da Silva-Grigoletto, M. E. (2012). Effect of high-load and high-volume resistance exercise on the tensiomyographic twitch response of biceps brachii. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(4), 612-619. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jelekin.2012.01.005>.

- García-Manso, J.M., Rodríguez-Matoso, D., Sarmiento, S., Y. de Saa, Vaamonde, D., Rodríguez-Ruiz, D., y da Silva-Grigoletto, M.E. (2010). La tensiomiografía como herramienta de evaluación muscular en el deporte. *Revista Andaluz de Medicina del Deporte*, 3(3), 98-102. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejvs.2012.04.024>
- Giza, E., y Micheli, J.L. (2005). *Soccer injuries*. En: Maffulli N. Caine DJ. Editors. *Epidemiology of Pediatric Sports Injuries: Team Sports* (pp. 140-169). Basel: Karger.
- González-Alonso, J., y Calbet, J.AL. (2003). Reductions in systemic and skeletal muscle blood flow and oxygen delivery limit maximal aerobic capacity in humans. *Circulation*, 107(6), 824–30. Recuperado de <http://circ.ahajournals.org/content/107/6/824.long>.
- González-Boto, R., Salguero, A., Tuero, C., y Márquez, S. (2009). Validez concurrente de la versión española del cuestionario de recuperación-estrés para deportistas (Restq-Sport). *Revista de Psicología del Deporte*, 18(1), 53-72. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=235119250004>.
- Goodall, S y Howatson, G. (2008). The effects of multiple cold water immersion on indices of muscle damage. *J Sports Sci Med*, 7, 235-41. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3761456/pdf/jssm-07-235.pdf>
- Grzegorz, J., Krasowska, I., Boguszewski, D., y Reaburn, P. (2016). The use of thermal imaging to assess the effectiveness of ice massage and cold-water immersion as methods for supporting post-exercise recovery. *Journal of Thermal Biology*, 60, 20-25. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306456516300146>.
- Halson, S. (2014). Monitoring fatigue and recovery. *Sports Science Exchange*, 27(135), 1-6. Recuperado de <http://www.gssiweb.org/Article/sse-135-monitoring-fatigue-and-recovery>
- Halson, S., Quod, M.J., Martin, D.T., Gardner, A.S., Ebert, T.R., y Laursen, P.B.(2008). Physiological responses to cold water immersion following cycling in the heat. *Int J Sports Physiol Perform*, 3(3), 331–46. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/24003029_Physiological_Responses_to_Cold_Water_Immersion_Following_Cycling_in_the_Heat.

- Hamlin, M.J. (2007). The effect of recovery modality on blood lactate removal and subsequent repetitive sprint performance in netball players. *New Zealand Journal Sports Medicine*, 34(2), 12–17. Recuperado de <http://coachsci.sdsu.edu/csa/vol183/hamlin.htm>
- Hauswirth, C., Duffield, R., Pournot, H., Bieuzen, F., Louis, J., Brisswalter, J., Castagna, O.(2012). Postexercise cooling interventions and the effects on exercise-induced heat stress in a temperate environment. *Appl Physiol Nutr Metab*,37(5),965–75. Doi: 10.1139/h2012-077. Doi: 10.1139/h2012-077.
- Hauswirts. C., y Mujika. I. (2013). *Recovery for performance in sport*. Champaing: Human Kinetics.
- Higgins, T.R., Climstein, M., y Cameron, M. (2013). Evaluation of hydrotherapy, using passive tests and power tests, for recovery across a cyclic week of competitive rugby union. *Journal of Strength & Conditioning Research*,27(4),954-965. doi: 10.1519/JSC.0b013e318260ed9b.
- Higgins, T.R., Greene, D.A., y Baker, M.K. (2016). The Effects of Cold Water Immersion and Contrast Water Therapy for Recovery from Team Sport: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research Publish Ahead of Print*. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001559.
- Hohenauer, E., Taeymans, J., Baeyens, J.P., Clarys, P., y Clijisen, R. (2015). The Effect of Post-Exercise Cryotherapy on Recovery Characteristics: A Systematic Review and Meta-Analysis. *PLoS ONE*.10(9), e0139028. doi:10.1371/journal.pone.0139028.
- Hough, T. (1902). Ergographic studies in muscular soreness. *Am J Physiol*, 7,76–92. Accesado desde <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2048417/>
- Howatson, G., Goodall, S., y van Someren, K.A. (2009). The influence of cold water immersions on adaptation following a single bout of damaging exercise. *Eur Journal Appl Physiology*, 10,615–21. Doi: 10.1007/s00421-008-0941-1.
- Ihsan, M., Waston, G., y Abbiss, C.R. (2016). What are the Physiological Mechanisms for Post-Exercise Cold Water Immersion in the Recovery from Prolonged Endurance and Intermittent Exercise?, *Sports Med*, 1-15. Doi:10.1007/s40279-016-0483-3.

- Ihsan, M., Watson, G., Lipski, M., y Abbiss, C. R. (2013). Influence of Postexercise Cooling on Muscle Oxygenation and Blood Volume Changes. *Med. Sci. Sports Exerc*, 45(5), 876–882. Doi: 10.1249/MSS.0b013e31827e13a2.
- Ingram, J., Dawson, B., Goodman, C., Wallman, K., y Beilby, J., (2009). Effect of water immersion methods on post-exercise recovery from simulated team sport exercise. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12, 417–421. Doi: 10.1016/j.jsams.2007.12.011
- Jakeman, J., Macrae, R., y Eston, R. (2009). A single 10-min bout of cold water immersion therapy after strenuous plyometric exercise has no beneficial effect on recovery from the symptoms of exercise induced muscle damage. *Ergonomics*, 52(4), 456–460. Doi: 10.1080/00140130802707733.
- Jalil, J., Lavandero, S., Chiong, M., y Ocaranza, M. (2005). La vía de señalización Rho/Rho-cinasa en la enfermedad y el remodelado cardiovascular. *Revista Española de Cardiología*, 58(8). 951-61. Recuperado de <http://www.revespcardiol.org/es/la-via-senalizacion-rho-rho-cinasa-enfermedad/articulo/13078132/>
- Johansen, L.B., Jensen, T.U.S., Pump, B., y Norsk, P. (1997). Contribution of abdomen and legs to central blood volume expansion in humans during immersion. *J Appl Physiol*, 83(3), 695–9. Recuperado de <http://jap.physiology.org/content/83/3/695.long>.
- Johnson, J., Yen, T., Zhao, K., y Kosiba, W. (2004). Sympathetic, sensory, and nonneuronal contributions to the cutaneous vasoconstrictor response to local cooling. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 288, 1573–1579. Doi: 10.1152/ajpheart.00849.2004
- Kallus, K. W. (1995). *The Recovery-Stress Questionnaire*. Frankfurt: Sweets und Zeitlinger.
- Kallus, K.W., y Kellmann, M. (2000). *Burnout in athletes and coaches*. in Y.L. Hanin (Ed.). *Emotions in sport*. pp. 209-230. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Katch, V., y Katch, F. (1974). A Simple Anthropometric Method for Calculating Segmental Leg Limb Volume. *Research Quarterly. American Alliance for Health. Physical Education and Recreation*, 45(2), 211-214. Doi: 10.1080/10671188.1974.10615262
- Kayser, B. (2003). Exercise starts and ends in the brain. *European Journal of Applied Physiology*, 90, 441-449. Doi: 10.1007/s00421-003-0902-7

- Kellmann, M., y Kallus, K.W. (2001). *Recovery- Stress Questionnaire for Athletes: User manual*. Champaign. IL: Human Kinetics.
- Kenntta, G., y Hassmen, P. (1998) Overtraining and Recovery: A Conceptual Model. *Sports Medicine*,26(1), 1-16. Doi: 10.2165/00007256-199826010-00001
- Knowlton, W.M., Palkar, R., Lippoldt, E.K., McCoy, D., Baluch, F., Chen, J McKemy, D. (2013). A sensory-labeled line for cold: TRPM8-expressing sensory neurons define the cellular basis for cold, cold pain, and cooling-mediated analgesia. *J Neuroscience*, 33(7), 2837–48. Doi: 10.1523/JNEUROSCI.1943-12.2013.
- Krizaj, D., Simunic, B. y Zagar, T. (2008). Short-term repeatability of parameters extracted from radial displacement of muscle belly. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18, 645-651. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jelekin.2007.01.008>
- Kuligowski, L., Lephart, S., Giannantonio, K., y Blanc, R. (1998). Effect of whirlpool therapy on the signs and symptoms of delayed-onset muscle soreness. *Journal of Athletic Training*, 33(3), 222-228. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1320427/>
- Lambert, M., y Mujika, I. (2013). *Physiology of Exercise training*. En Hausswirts. C y Mujika. I. (Ed). *Recovery for performance in sport* (3-9). Human Kinetics. Champaing. IL.
- Leal, E., De Godoi, V., Mancalossi, J.L., Rossi, R., De Marchi, T., Parente. M....Brandão, R.A. (2011). Comparison between cold water immersion therapy (CWIT) and light emitting diode therapy (LEDT) in short-term skeletal muscle recovery after high-intensity exercise in athletes - preliminary results. *Lasers Medecine Science*,26, 493–501. doi: 10.1007/s10103-010-0866-x.
- Leeder, J., Gissane, C., Van Someren, K., Gregson, W., y Howatson, G. (2012). Cold water immersion and recovery from strenuous exercise: A meta-analysis. *British J Sports Medicine*, 46, 233–240. Doi:10.1136/bjsports-2011-090061.
- Lemyer, P.M., y Fournier, J. (2013). Psychological Aspect of Recovery. En Hausswirts. C. y Mujika. I. *Recovery for performance in sport* (pp.43-52). Champaing: Human Kinetics.

- Leza, J.C. (2005). Mecanismos de daño cerebral inducido por estrés. *Ansiedad y Estrés*, 11, 123-140. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1374162>.
- López-Chicharro, J., y López-Mojares, L.M. (2008). *Fisiología Clínica del Ejercicio*. Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Lorenzo-Calvo, A. (2001). Hacia un nuevo enfoque del concepto de talento deportivo. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, 15(2), 27-33. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3731017>.
- Machado, A.F., Ferreira, P.H., Micheletti, J.K., de Almeida, A.C., Lemes, Í.R., Vanderlei, F.M.,..., Pastre, C.M.(2016). Can Water Temperature and Immersion Time Influence the Effect of Cold Water Immersion on Muscle Soreness? A Systematic Review And Meta-Analysis. *Sports Med*, 46(4),503-14. Doi: 10.1007/s40279-015-0431-7.
- Magal, M., Dumke, C.L., Urbiztondo, Z.G., Cavill, M.J., Triplett, N.T., Quindry, J.C... Epstein, Y. (2010). Relationship between serum creatine kinase activity following exercise induced muscle damage and muscle fibre composition. *Journal of Sports Sciences*, 28(3), 257–266. Doi: 10.1080/02640410903440892.
- Markovic, G., Dizdar, D., Jukic, I., y Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *J Strength Cond Res*, 18 (3):551-555. Recuperado de <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=3ac48e55-d98d-469d-ad16-b73710138376%40sessionmgr104&vid=1&hid=109>.
- Márquez, S. (2006). Estrategias de afrontamiento del estrés en el ámbito deportivo: fundamentos teóricos e instrumentos de evaluación. *International Journal of Clinical and Health Psychology. Psychology*, 6, 359-378. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33760209>.
- Marins J.C.B, Fernández-Cuevas I, Arnaiz-Lastras J, Fernandes A.A., y Sillero-Quintana M. (2015). Aplicaciones de la termografía infrarroja en el deporte. Una revisión. *Rev Int Med Cienc Act Fís Deporte*, 15(60), 805-824. Recuperado de <http://cdeporte.rediris.es/revista/revista60/artaplicaciones594.htm>

- Meeusen, R., Doclos, M., Foster, C., Fry, A., Gleeson, M., Nieman, D., Raglin, J....
Urhasen, A. (2012). Prevention, Diagnosis and Treatment of the Overtraining Syndrome: Joint Consensus Statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Medicine and Science in Sports Exercise*. Doi:10.1249/MSS.0b013e318279a10a.
- Merrick, M.A., Jutte, L.S., y Smith, M.E. (2003). Cold modalities with different thermodynamic properties produce different surface and intramuscular temperatures. *Journal of Athletic Training*, 38, 28-33. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC155508/>.
- Millet, G. y Lepers, R. (2004). Alterations of neuromuscular function after prolonged running, cycling and skiing. *Sports Medicine*, 34, 105-116. Doi: 0112-1642/04/0002-0105/\$31.00/0
- Minett, G.M., Duffield, R., Billaut, F., Cannon, J., Portus, MR., Marino, F.E. (2014). Cold-water immersion decreases cerebral oxygenation but improves recovery after intermittent-sprint exercise in the heat. *Scand J Med Sci Sports*,24(4),656–66. Doi: 10.1111/sms.12060.
- Mohaup, M.G., Karas, R.H., Babiychuk, E.B., Sánchez-Freire, V., Monastyrskaya, K., Iyer, L., Draeger, A. (2009). Association between statin-associated myopathy and skeletal muscle damage. *Canadian Medical Association Journal*, 181(1-2),11–18. Doi:10.1503/cmaj.081785.
- Molinero, O., Salguero, A., y Márquez, S. (2011). Análisis de la recuperación-estrés en deportistas y relación con los estados de ánimo: un estudio descriptivo. *Cuadernos de Psicología del Deporte*, 11(2), 47-55. Recuperado de <http://revistas.um.es/cpd/article/view/133791>.
- Molinero, O., Salguero, A., y Márquez, S. (2012). Estrés-recuperación en deportistas y su relación con los estados de ánimo y las estrategias de afrontamiento. *Revista de Psicología del Deporte*, 21(1), 163-170. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=235124455021>.
- Montgomery, P., Pine, D., Cox, A., Hopkins, W., Minaham, C., y Hurt, P. (2012). Muscle damage, inflammation, and recovery interventions during a 3-day basketball

- tournament. *European Journal of Sport Science*, 8(5), 241-250. Doi:10.1080/17461390802251844.
- Montgomery, P., Pine, D., Hopkins, W., Dorman, J., Cook, K., y Minaham, C. (2008). The effect of recovery strategies on physical performance and cumulative fatigue in competitive basketball. *Journal of Sports Sciences*, 26(11), 1135–1145. Doi: 10.1080/02640410802104912.
- Morton, R.H. (2007). Contrast water immersion hastens plasma lactate decrease after intense anaerobic exercise. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 10, 467-470. Doi:10.1016/j.jsams.2006.09.004.
- Mourot, L., Bouhaddi, M., Gandelin, E., Cappelle, S., Dumoulin, G., Wolf, J.P., ... Regnard, J.(2008). Cardiovascular autonomic control during short-term thermoneutral and cool head-out immersion. *Aviat Space Environ Med*,79(1),14–20. Doi: <http://dx.doi.org/10.3357/ASEM.2147.2008>.
- Murray, A y Cardinale, M. (2015). Cold applications for recovery in adolescent athletes: a systematic review and meta-analysis. *Extrem Physiol Med*,4(17), 1-15. Doi: 10.1186/s13728-015-0035-8
- Nielsen, B., Hyldig, T., Bidstrup, F., J. González-Alonso, J., y. G.R.J. (2001). Brain activity and fatigue during prolonged exercise in the heat. *Pflugers Arch*, 442(1),41–8. Doi: 10.1007/s004240100515
- Noya, J., y Sillero, M. (2012). Incidencia lesional en el fútbol profesional español a lo largo de una temporada: días de baja por lesión. *Apunts Med Esport*, 142, 1-9. Doi:10.1016/j.apunts.2011.10.001.
- Nybo, L. (2012). Brain temperature and exercise performance. *Exp Physiol*,97(3),333–9. Doi: 10.1113/expphysiol.2011.062273.
- Nybo, L., y Nielsen, B. (2001). Perceived exertion is associated with an altered brain activity during exercise with progressive hyperthermia. *J Appl Physiol*, 91(5),2017–23. Recuperado de <http://jap.physiology.org/content/91/5/2017.full.pdf+html>
- Paddon-Jones, D., y Quigley, B. (1997). Effect of cryotherapy on muscle soreness and strength following eccentric exercise. *International Journal Sports Medicine*,18(8), 588–93. Doi: 10.1055/s-2007-972686.

- Park, K.S., Choi, J.K., y Park, Y.S.(1999). Cardiovascular regulation during water immersion. *Appl Hum Sci*,18(6), 233–41.Recuperado de https://www.jstage.jst.go.jp/article/ahs/18/6/18_6_233/_article
- Parouty, J., Al Haddad, H., Quod, M., Leprêtre, P.M., Ahmaidi, S., Buchheit, M. (2010). Effect of cold water immersion on 100-m sprint performance in well-trained swimmers. *Eur J Appl Physiol*,109(3),483–90. Doi: 10.1007/s00421-010-1381-2.
- Peiffer, J., Abbiss, C., Watson, G., Nosaka, K., y Laursen, P. (2009a). Effect of cold-water immersion duration on body temperature and muscle function. *Journal of Sports Sciences*,27(10), 987–993. Doi: 10.1080/02640410903207424
- Peiffer, J., Abbiss, C., Watson, G., Nosaka, K., y Laursen, P.B. (2010a). Effect of cold water immersion on repeated 1-km cycling performance in the heat. *Journal Sci Med Sport*,13(1), 112–6. Doi: 10.1016/j.jsams.2008.08.003.
- Peiffer, J.J., Abbiss, C.R., Watson, G., Nosaka, K., y Laursen, P.B. (2010b). Effect of a 5-min cold water immersion recovery on exercise performance in the heat. *Br J Sports Med*,44(6),461–5. Doi: 10.1136/bjism.2008.048173.
- Peiffer, J.J., Abbiss., C.R., Nosaka, K., Peake, J.M., y Laursen, P.B. (2009b). Effect of cold water immersion after exercise in the heat on muscle function. body temperatures and vessel diameter. *Journal Science Medicine Sport*,12(1), 91-96. Doi:10.1016/j.jsams.2007.10.011.
- Périard, J.D., Cramer, M.N., Chapman, P.G., Caillaud, C., y Thompson, M.W.(2011).Cardiovascular strain impairs prolonged self-paced exercise in the heat. *Exp Physiol*,96(2),134–44. Doi: 10.1113/expphysiol.2010.054213.
- Perotto, A., Delagi, E., Iazetti, J., y Morrison D. (2011). *Anatomic guide for the electromyographer: The limbs and trunk*. Charles Springfield, United States: C. Thomas Publisher LTD, 5th Ed.
- Plowman, S., y Smith, D. (2014). *Exercise Physiology for health Fitness and Performance*. 4th Ed. Estados Unidos de América: LWW
- Pointon, M., Duffield, R., Cannon, J., Marino, F.E. (2012). Cold water immersion recovery following intermittent-sprint exercise in the heat. *Eur J Appl Physiol*,112(7),2483–94. Doi: 10.1007/s00421-011-2218-3.

- Pournot, H., Bieuzen, F., DuYeld, R., Lepretre, P., Cozzolino, C., y Hausswirth, C. (2011). Short term effects of various water immersions on recovery from exhaustive intermittent exercise. *European Journal Applied Physiology*, *111*, 1287–1295. Doi: 10.1007/s00421-010-1754-6.
- Price, D., McGrath, P., Rafii, A., y Buckingham, B. (1983). The Validation of Visual Analogue Scales as Ratio Scale Measures for Chronic and Experimental Pain. *Pain*, *17*, 45-56. Doi:10.1016/0304-3959(83)90126-4.
- Proudfoot, C.J., Garry, E.M., Cottrell, D.F., Rosie, R., Anderson, H., Roberson, D.,...Mitchell, R (2006). Analgesia mediated by the TRPM8 cold receptor in chronic neuropathic pain. *Curr Biol*, *16*(16),1591–605. Doi: 10.1016/j.cub.2006.07.061
- Pruscino, C.L., Halson, S., y Hargreaves, M. (2013). Effects of compression garments on recovery following intermittent exercise. *European Journal of Applied Physiology*, *113*(6):1585-96. doi: 10.1007/s00421-012-2576-5.
- Pump, B., Shiraishi, M., Gabrielsen, A., Bie, P., Christensen, N.J., y Norsk, P. (2001). Cardiovascular effects of static carotid baroreceptor stimulation during water immersion in humans. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, *280*(6),H2607–15. Accesado desde <http://ajpheart.physiology.org/content/280/6/H2607.full.pdf+html>.
- Rey, E., Lago-Peñas, C., Lago-Ballesteros, J. (2012). Tensiomyography of selected lower-limb muscles in professional soccer players. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *22*,866–872. Doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jelekin.2012.06.003>
- Rey, E., Lago-Peñas, C., Lago-Ballesteros, J., Casáis, L. (2012). The effect of recovery strategies on contractile properties using tensiomyography and perceived muscle soreness in professional soccer players. *Journal of Strength Conditioning Research*, *26*,3081–3088. Doi: 10.1519/JSC.0b013e3182470d33
- Robey, E., Dawson, B., Goodman, C., y Beilby, J. (2009). Effect of postexercise recovery procedures following strenuous stair-climb running. *Research in Sports Medicine*, *17*, 245–259. Doi: 10.1080/15438620902901276.
- Robey, E., Dawson, B., Halson, S., Gregson, W., King, S., Goodman. C., y Eastwood, P. (2013). Effect of Evening Postexercise Cold Water Immersion on Subsequent Sleep. *Med Sci Sports Exerc*, *45*(7),1394–1402. Doi: 10.1249/MSS.0b013e318287f321.

- Rojas-Valverde, D., Gutiérrez-Vargas, R., Sánchez-Ureña, B., Gutiérrez-Vargas, J.C., Cruz-Fuentes, I., y Salas-Cabrera, J. (2015). Comportamiento neuromuscular posterior a la competencia en Jugadores profesionales de fútbol de costa rica: un Seguimiento tensiomiográfico. *Pensar en Movimiento: Revista de Ciencias del Ejercicio y la Salud*, 13(2), 1-17. Doi: <http://dx.doi.org/10.15517/pensarmov.v13i2.19246>
- Rodríguez-Matoso, D., Rodríguez-Ruiz, D., Quiroga, M.E., Sarmiento, S., De Saa, Y., y García-Manso, J.M. (2010). Tensiomiografía. utilidad y metodología en la evaluación muscular. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 10(40), 620-629. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/48523452_Tensiomiografia_utilidad_y_metodologia_en_la_evaluacion_muscular
- Rowell, G., Coutts, A., Raeburn, P., y Hill-Haas, S. (2011). Effect of post-match cold water immersion on subsequent match running performance in junior soccer players during tournament play. *J Sports Science*, 29(1), 1–6. Doi: 10.1080/02640414.2010.512640.
- Rowell, G., Coutts, A., Reaburn, P., y Hill-Haas, S. (2009). Effects of cold water immersion on physical performance between successive matches in high-performance junior male soccer players. *Journal Sports Science*, 27, 565–573. Doi: 10.1080/02640410802603855.
- Rusu, F., Cosma, G., Cernaianu, S., Marin, M., Rusu, P., Ciocănescu, D. y Neferu, N. (2013). Tensiomyography method used for neuromuscular assessment of muscle training. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 10, 67. <http://dx.doi.org/10.1186/1743-0003-10-67>
- Sánchez- Ureña, B., Barrantes-Brais, K., Ureña-Bonilla, P., Calleja-González, J., y Ostojic, S. (2015). Effect of water immersion on recovery from fatigue: a meta-analysis. *European Journal of Human Movement*, 34, 1-14. Recuperado de <http://www.eurjhm.com/index.php/eurjhm/article/view/338>.
- Sánchez-Ureña. B., Martínez-Guardado, I., Crespo, C., Calleja-González, J., Ibañez S.J., Mjaanes, J.M y Olcina, G (2016). Comparison Of Cold Water Immersion Protocols

- For Recovery In Basketball Players: Continuous Or Intermittent?. *Med Sci Sports Exerc*, 48(5 Suppl 1), 1070-1. Doi: 10.1249/01.mss.0000488222.11350.3a.
- Sánchez-Ureña, B., Ureña-Bonilla, P., y Calleja-González, J. (2014). Niveles subjetivos de estrés-recuperación en deportistas Costarricenses de alto rendimiento. *Cuadernos de Psicología del Deporte*, 14(1), 103-108. Recuperado de <http://revistas.um.es/cpd/article/view/191011>.
- Schniepp, J., Campbell, T.S., Powell, K.I., y Pincivero, D.M. (2002). The effects of cold water immersion on power output and heart rate in elite cyclists. *J Strength Cond Res*, 16(4), 561–6. Doi: 10.1519/00124278-200211000-00012.
- Scott, B.R., Lockie, R.G., Knight, T.J., Clark, A.C., y Janse de Jonge, X. (2013). A Comparison of Methods to Quantify the In-Season Training Load of Professional Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8, 195-202. Accedido desde https://www.researchgate.net/publication/235689176_A_comparison_of_methods_to_quantify_the_in-season_training_load_of_professional_soccer_players.
- Sellwood, K., Brukner, P., Williams, D., Nicol, A., y Hinman, R. (2007). Ice-water immersion and delayed-onset muscles soreness: a randomised controlled trial. *Br J Sports Medicine*, 41(6), 392–7. Doi: 10.1136/bjsm.2006.033985.
- Stanley, J., Buchheit, M., Peake, J.M. (2012). The effect of post-exercise hydrotherapy on subsequent exercise performance and heart rate variability. *Eur J Appl Physiol*, 112(3), 951–61. Doi: 10.1007/s00421-011-2052-7.
- Stanley, J., Buchheit, M., y Peake, J. (2012). The effect of post-exercise hydrotherapy on subsequent exercise performance and heart rate variability. *European Journal Applied Physiology*, 112(3), 951–61. Doi: 10.1007/s00421-011-2052-7.
- Stanley, J., Peake, J., y Buchhet, M. (2012). Consecutive days of cold water immersion: effects on cycling performance and heart rate variability. *European Journal Applied Physiology*, 113(2), 371-84. Doi: 10.1007/s00421-012-2445-2.
- Stocks, J., Patterson, M., Hyde, D., Jenkins, A., Mittleman, M., y Taylor, N. (2004). Effects of immersion water temperature on whole-body fluid distribution in humans. *Acta Physiol Scand*, 182, 3–10. Doi: 10.1111/j.1365-201X.2004.01302.x.

- Takahashi, J., Ishihara, K., y Aoki, J. (2006). Effect of aqua exercise on recovery of lower limb muscles after downhill running. *J Sports Science*,24(8), 835–42. Doi:10.1080/02640410500141737.
- Takeda, M., Sato, T., Hasegawa, T., Shintaku, H., Kato, H., Yamaguchi, Y., y Radak, Z.(2014).The effects of cold water immersion after rugby training on muscle power and biochemical markers. *Journal of Sport Science and Medicine*, 13(3), 616-23. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4126300/pdf/jssm-13-616.pdf>.
- Taylor, J., Amann, M., Duchateau, J., Meeusen, R., y Rice, C.L.(2016). Neural Contributions to Muscle Fatigue: From the Brain to the Muscle and Back Again. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, Publish Ahead of Print, 1-45. DOI: 10.1249/MSS.0000000000000923.
- Taylor, J.L., Todd. G., Gandevia, S.C. (2006). Evidence for a supraspinal contribution to human muscle fatigue. *Clin Exp Pharmacol Physiol*,33(4),400–5. Doi: 10.1111/j.1440-1681.2006.04363.x
- Terrados, N., y Calleja-González, J. (2010). Recuperación Post-competición del Deportista. *Archivos de Medicina del Deporte*, 27(138), 41-47. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3289020>.
- Tessitore, A., Meeusen, R., Cortis, C., y Caprini, L. (2007). Effects of different recovery interventions on anaerobic performances following preseason soccer training. *J Strength Cond Research*,21(3),745–50. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Romain_Meeusen/publication/6153259_Effects_of_different_recovery_interventions_on_anaerobic_performances_following_preseason_soccer_training/links/0fcfd50c2eeca2f4e1000000.pdf
- Tessitore, A., Meeusen, R., Pagano, R., Benvenuti, C., Tiberi, M., y Capranica, L. (2008). Effectiveness of active versus passive recovery strategies after futsal games. *J Strength Cond Researc*,22(5), 1402–12. Doi: 10.1519/JSC.0b013e31817396ac.
- Thompson, D., Nicholas, C., y Williams, C. (1999). Muscular soreness following prolonged intermittent high- intensity shuttle running. *Journal of Sport Science*, 17, 387-395. Doi: 10.1080/026404199365902.

- Thompson-Torgerson, C., Holowatz, L., Flavahan, N., y Kenney, W. (2007). Rho kinase-mediated local cold-induced cutaneous vasoconstriction is augmented in aged human skin. *American Journal of Physiology Heart Circ Physiology*, 293(1), 30-36. Doi: 10.1152/ajpheart.00152.2007.
- Tous-Fajardo, J., Moras, G., Rodríguez-Jiménez, S., Usach, R., Moreno-Doutres, D, y Maffiuletti, N. (2010). Inter-rater reliability of muscle contractile property measurements using non-invasive tensiomyography. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20, 761-766. Doi:10.1016/j.jelekin.2010.02.008.
- Vaile, J., Gill, N., y Blazevich, A. (2007). The effect of contrast water therapy on symptoms of delayed onset muscle soreness. *Journal Strength Cond Research*, 21, 697–702. Doi: 10.1371/journal.pone.0062356.
- Vaile, J., Halson, S., y Graham, S. (2010). Recovery review: Science vs. Practice. *Journal of Australian Strength and Conditioning; Supplement*, 2, 2–21. Accesado desde https://www.google.co.cr/?gws_rd=ssl#q=Recovery+review:+Science+vs.+Practice
- Vaile, J., Halson, S., Gill, N., y Dawson, B. (2008a). Effect of cold water immersion on repeat cycling performance and thermoregulation in the heat. *Journal of Sports Sciences*, 26(5), 431 – 440. Doi: 10.1080/02640410701567425.
- Vaile, J., Halson, S., Gill, N., y Dawson, B. (2008b). Effect of hydrotherapy on recovery from fatigue. *International Journal Sports Medicine*, 29, 539–544. Doi: 10.1055/s-2007-989267.
- Vaile, J., Halson, S., Gill, N., y Dawson, B. (2008c). Effect of hydrotherapy on the signs and symptoms of delayed onset muscle soreness. *European Journal Applied Physiology*. 102(4), 447–455. Doi: 10.1007/s00421-007-0605-6.
- Vaile, J., O’Hagan, C., Stefanovic, B., Walker, M., Gill, N., Askew, C.D. (2010). Effect of cold water immersion on repeated cycling performance and limb blood flow. *Br J Sports Med*, 45(10), 825–9. Doi: 10.1136/bjism.2009.067272.
- Vaile, J., O’Hagan, C., Stefanovic, B., Walker, M., Gill, N., y Askew, C.D. (2011). Effect of cold water immersion on repeated cycling performance and limb blood flow. *Br Journal Sports Medicine*, 45(10), 825–9. Doi: 10.1136/bjism.2009.067272

- Valcarce, E. (2011). Niveles de estrés-recuperación en deportistas varones de la Provincia de León a través del cuestionario RESTQ-76. *Cuadernos de psicología del deporte*, 11(2), 7-24. Accesado desde <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=227019296002>
- Vanshika, S. (2012). Literature review of Management of Delayed onset muscle soreness (DOMS). *International Journal of Biological & Medical Research*, 3(1), 1469-1475. Recuperado de http://www.biomedscidirect.com/371/literature_review_of_management_of_delayed_onset_muscle_soreness_doms/articlescategories
- Versey, N., Halson, S., y Dawson, B. (2013). Water Immersion Recovery for Athletes: Effect on Exercise Performance and Practical Recommendations. *Journal Sports Medicine*, 43, 1101–1130. Doi: 10.1007/s40279-013-0063-8.
- Viitasalo, J., Niemela, K., Kaappola, R., Korjus, T., Levola, M., Mononen, H.V., ... Takala, T.E. (1995). Warm underwater water-jet massage improves recovery from intense physical exercise. *Eur J Appl Physiology*, 71(5), 431–8. Doi: 10.1007/BF00635877
- Wakabayashi, H., Kaneda, K., Sato, D., Tochihara, Y., y Nomura, T. (2008). Effect of non-uniform skin temperature on thermoregulatory response during water immersion. *Eur J Appl Physiol*, 104(2), 175–81. Doi: 10.1007/s00421-008-0714-x.
- Wang, H., y Siemens, J., (2015). TRP ion channels in thermosensation thermoregulation and metabolism. *Temperature* 2, 178–187. Doi: 10.1080/23328940.2015.1040604.
- Washington, L.L., Gibson, S.J., y Helme, R.D. (2000). Age-related differences in the endogenous analgesic response to repeated cold water immersion in human volunteers. *Pain*, 89, 89-96. Doi:10.1016/S0304-3959(00)00352-3.
- White, G., y Wells, G.D. (2013). Cold-water immersion and other forms of cryotherapy: physiological changes potentially affecting recovery from high-intensity exercise. *Extreme Physiology y Medicine*, 2(26), 371-384. Doi: 10.1186/2046-7648-2-26.
- Wilcock, I., Cronin, J., y Hing, W. (2006). Physiological response to water immersion. A method for sport recovery?. *Sports Medicine*, 36(9), 747-765. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/6850640_Physiological_Response_to_Water_Immersion.

- Wilmore, J.H., y Costill, D.L. (2007). *Fisiología del Esfuerzo y el Deporte* (6ta Ed). Barcelona: Editorial Paidotribo.
- Yamane, M., Teruya, H., Nakano, M., Ogai, R., Ohnishi, N., y Kosaka, M. (2006). Post-exercise leg and forearm flexor muscle cooling in humans attenuates endurance and resistance training effects on muscle performance and on circulatory adaptation. *European Journal Applied Physiology*, 96(5), 572–80. Doi:10.1007/s00421-005-0095-3
- Yanagisawa, O., Homma, T., Okuwaki, T., Shimao, D., y Takahashi, H. (2007). Effects of cooling on human skin and skeletal muscle. *European Journal of Applied Physiology*, 100(6), 737-45. Doi: 10.1007/s00421-007-0470-3.
- Yanagisawa, O., Kudo, H., Takahashi, N., y Yoshioka, H. (2004). Magnetic resonance imaging evaluation of cooling on blood flow and oedema inskeletal muscles after exercise. *Eur J Appl Physiol*,91(5),737–40. Doi: 10.1007/s00421-004-1060-2.
- Yeargin, S.W., Casa, D.J., McClung, J.M, J.C.,Knight, J.C., Healey, Jc., Goss, P.J., Harvard, W.R., and. Hipp G.R. (2006). Body cooling between two bouts of exercise in the heat enhances subsequent performance. *J Strength Cond Res*,20(2),383–9. Doi: 10.1519/R-18075.1.

Anexos