



**UGR** Universidad  
del Gran Rosario

## **TESINA**

**presentado para solicitar su inscripción**

**en el marco normativo vigente de la carrera de**

## **LICENCIATURA EN KINESIOLOGÍA Y FISIATRÍA**

**Título:**

**“Efectos de los baños de inmersión con crioterapia para la  
recuperación deportiva en atletas mayores de 18 años”**

**Autor:**

**Volonté, Juan Pablo. IUGR-6959**

**Director:**

**Lic. Del Popolo, Augusto.**

**Sede: Rosario.**

**Fecha de presentación:**

**16/10/2024**

**Firma del autor:**

## **Resumen.**

El ejercicio físico tanto de manera profesional, como de manera amateur, genera como consecuencia el llamado dolor muscular de origen diferido (DOMS por sus siglas en inglés). Este es un fenómeno frecuente posterior al ejercicio que se manifiesta después de una carga extenuante y desacostumbrada. Estas respuestas al ejercicio consideradas “negativas” para el deportista, generan la necesidad de iniciar con el período de recuperación deportiva, es por esto que se decide comenzar con un protocolo de recuperación.

Una de las opciones más utilizadas en la actualidad con el fin de la recuperación deportiva, son los baños de inmersión con crioterapia, la cual consiste en sumergirse dentro de una piscina de agua fría con un efecto terapéutico. Es de público conocimiento la utilización de esta terapia, aunque aún no se encuentra de manera clara su dosificación, ni las consecuencias que produce la misma. Es por este motivo que surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuáles son los efectos que generan los baños de inmersión con crioterapia para la recuperación deportiva en deportistas mayores de 18 años?

**Objetivos:** Analizar mediante una revisión bibliográfica los efectos de los baños de inmersión con crioterapia para la modulación del dolor, la sensación subjetiva de esfuerzo y la fuerza durante el período de recuperación deportiva en deportistas mayores de 18 años.

**Métodos:** Se realizó una revisión bibliográfica donde se consultaron las bases de datos de Pubmed, Biblioteca Virtual de Salud, y Biblioteca Electrónica MINCYT y se tuvieron en cuenta los artículos comprendidos entre el año 2014 y 2024.

**Resultados:** Se realizó una revisión bibliográfica donde se recolectaron un total de 1626 artículos de los cuales 6 quedaron en el corte final, luego de ser analizados al detalle.

**Conclusión:** La terapia de baños de inmersión con crioterapia es una opción de tratamiento efectiva con respecto a la disminución del dolor si se aplica luego de realizar actividad deportiva, pero no genera cambios significativos con respecto a la sensación subjetiva de esfuerzo y la fuerza.

**Palabras claves:** Recovery, Muscle fatigue, Sports medicine, Hydrotherapy, Cryotherapy.

## Índice.

<b>I .Introducción.</b>	<b>1</b>
I .A Problema.	2
<b>II .Objetivos.</b>	<b>3</b>
II .A Objetivo general.	3
II .B Objetivos específicos.	3
<b>III .Justificación.</b>	<b>3</b>
<b>IV. Marco teórico.</b>	<b>3</b>
IV.A El músculo.	3
IV.A.1 Clasificación de la musculatura según morfología y función.	4
IV.A.2 Tejido músculo esquelético.	5
IV.A.3 Contracción muscular.	6
IV.B El ejercicio físico y sus consecuencias.	7
IV.B.1 La fatiga muscular.	8
IV.B.2 Daño muscular inducido por el ejercicio.	10
IV.B.3 Período de recuperación deportiva.	14
IV.C. Crioterapia.	16
IV.C.1 Baños de inmersión con crioterapia.	18
<b>V . Material y métodos.</b>	<b>20</b>
V .A. Combinación de palabras claves.	21
<b>VI .Resultados.</b>	<b>21</b>
VI.A. Selección de artículos.	21
VI.B. Análisis de datos.	21
VI.C. Análisis de la bibliografía.	22
VI.D. Análisis de resultado.	39
<b>VII. Discusión.</b>	<b>41</b>
<b>VIII. Conclusión.</b>	<b>43</b>
<b>IX. Referencias bibliográficas.</b>	<b>44</b>
<b>X. Anexos.</b>	<b>48</b>
X.A. Escala analógica visual.	48
X.B. Escala del estado de recuperación percibida	49
X.C. Escala de Borg modificada.	49

## I .Introducción.

Existen varias formas de ejercicio y se ubican en un continuo, los que predominan la fuerza por un lado, por otro los de resistencia, y por último, los ejercicios de velocidad. La mayoría de los eventos deportivos y las sesiones de entrenamiento físico incluyen una o una combinación de estas formas de ejercicio. (1)

Durante el ejercicio, existen tres vías indirectas que dan como resultado un daño estructural inducido por el mismo. El estrés mecánico, que ocurre a partir de un aumento en el estrés mecánico neto por fibra muscular, causa daño estructural a la fibra muscular directamente debido a una falla en las miofibrillas durante las contracciones excéntricas. El ejercicio de duración prolongada y/o alta intensidad metabólica, como correr una maratón, produce estrés metabólico. En el modelo de daño metabólico, los eventos iniciales que resultan en daño estructural son causados por deficiencias metabólicas que aumentan la vulnerabilidad de la fibra muscular al estrés mecánico. El estrés metabólico y el aumento de la temperatura que se produce durante el ejercicio causan daño estructural indirectamente a través de un aumento en la tasa metabólica y la actividad de la nicotinamida adenina dinucleótido fosfato oxidasa, respectivamente. Ambos dan como resultado un aumento en la actividad de las especies reactivas de oxígeno mitocondrial. (2)

Una de las respuestas musculares post ejercicio es el dolor muscular de origen tardío (DOMS por sus siglas en inglés), también llamado agujetas. Este es un fenómeno frecuente posterior al ejercicio que generalmente se manifiesta después de una carga extenuante y desacostumbrada. Sus síntomas, que incluyen dolor y rigidez del tejido blando afectado, ocurren horas después de la actividad y alcanzan niveles máximos después de uno a tres días. Si bien todos los tipos de trabajo muscular pueden inducir el agotamiento muscular general, el DOMS es causado particularmente por la contracción excéntrica. (2)

Ya que sabemos que el ejercicio puede producir ciertas respuestas consideradas “negativas” para el deportista, necesitamos iniciar con el período de recuperación deportiva, es decir, acelerar la restauración aguda de la función neuromuscular y el rendimiento físico después del ejercicio, ya que es crucial para mejorar la calidad de las sesiones de entrenamiento posteriores o maximizar el rendimiento deportivo en competiciones de varios días. Además, mejorar la condición física es beneficioso para aumentar el volumen total de entrenamiento en atletas entrenados, lo que mejoraría las adaptaciones al mismo y evitaría potencialmente la sobrecarga y las lesiones. La

aplicación de estrés fisiológico adicional durante la recuperación posterior al ejercicio también podría ser relevante para mejorar las adaptaciones al entreno. (1)

Una de las opciones utilizadas son los baños de inmersión con crioterapia post competencia. Los baños de inmersión con crioterapia son baños en piscina fría con un efecto terapéutico, y se utilizan habitualmente después de realizar series de alta intensidad para acelerar la recuperación post deporte. (3)

La crioterapia no puede influir en la respuesta al daño primario. Sin embargo, si se aplica inmediatamente después del daño primario, e idealmente antes de la potenciación del daño secundario, la crioterapia podría minimizar el riesgo de daño adicional a la musculatura al mitigar las deficiencias que generalmente ocurren después de una lesión o ejercicio. (4)

La inmersión en agua fría provoca vasoconstricción periférica que da como resultado una acumulación central de sangre, seguida de vasodilatación periférica inmediatamente después de salir del agua fría. Este mecanismo puede mejorar la velocidad a la que los músculos se reoxigenan. (5)

En general, se ha pensado que el enfriamiento mejora la recuperación al reducir la sensación de dolor muscular, aliviar el daño muscular inducido por el ejercicio y disminuir la inflamación y el edema.(1) La disminución del dolor muscular después del ejercicio intenso puede ser el efecto más consistente de la inmersión en agua fría. Se ha demostrado previamente que el mismo protocolo de inmersión en agua fría (es decir, 10 minutos de inmersión en agua fría a 10°C) redujo significativamente el dolor muscular después de un ejercicio de fuerza intenso. Se desconocen los mecanismo a través de los cuales la inmersión en agua fría reduce el dolor muscular después del ejercicio. En reposo, (es decir, sin ejercicio previo), la colocación de hielo tópico en el tobillo reduce la velocidad de conducción nerviosa y aumenta el umbral del dolor y la tolerancia al dolor. Estos hallazgos sugieren que la crioterapia puede influir en la actividad de los nociceptores en los tejidos blandos. El dolor y la actividad de los nociceptores en el músculo están mediados, en parte, por citoquinas proinflamatorias, bradicinina y las neurotrofinas factor de crecimiento nervioso (NGF) y factor neurotrófico derivado de la línea de células gliales (GDNF). (6)

### **I .A Problema.**

¿Cuáles son los efectos que generan los baños de inmersión con crioterapia para la recuperación deportiva en deportistas mayores de 18 años?

## **II. Objetivos.**

### **II.A Objetivo general.**

El objetivo general será analizar mediante una revisión bibliográfica los efectos de los baños de inmersión con crioterapia para la modulación del dolor, la sensación subjetiva de esfuerzo y la fuerza durante el período de recuperación deportiva en deportistas mayores de 18 años.

### **II.B Objetivos específicos.**

- Describir la fisiología del período de recuperación deportiva y sus consecuencias.
- Explicar cuáles son las respuestas de los tejidos post ejercicio intenso ante las bajas temperaturas.
- Mencionar los parámetros de aplicación y dosificación de la terapia de inmersión en agua fría.
- Analizar los potenciales beneficios de los baños de inmersión con crioterapia con respecto al dolor, la fuerza y la sensación subjetiva de esfuerzo en la fase de recuperación deportiva.

## **III. Justificación.**

Esta terapéutica podría ser para el deportista un método no invasivo, el cual ayudaría a evitar futuras lesiones durante actividades deportivas posteriores, como pueden ser: contracturas, desgarros, tendinitis y todo tipo de lesiones de carácter muscular, las cuales pueden perjudicar al deportista durante su estadio de competencia.

Este trabajo intenta realizar aportes al área de la rehabilitación y prevención, y así, poder esclarecer cuales pueden ser los protocolos de aplicación en función de los resultados que se observen.

## **IV. Marco teórico.**

### **IV.A El músculo.**

El conjunto de la musculatura está formada por 639 músculos, que en su totalidad, representan el 30-40% del peso corporal en la mujer y el 40-50% en el hombre.

La principal característica que posee el músculo es su capacidad contráctil, por ende, decimos que es un órgano del movimiento que se compone por múltiples células musculares.(7)

Las células musculares tienen la capacidad de contraerse gracias a la interacción de los miofilamentos gruesos con los miofilamentos finos. Los miofilamentos finos se encuentran compuestos principalmente por la proteína actina, mientras que los gruesos se encuentran compuestos por la miosina II.(8)

Junto al tejido muscular también encontramos tejido conectivo, el cual posibilita la unión de las células musculares entre ellas y transmite la contracción de las fibras musculares a su entorno. Dependiendo de su tamaño, cada músculo se encuentra compuesto por entre 10 y 500.000 fibras musculares. El número de fibras musculares disminuye en un 30% con la edad, debido a un aumento de la inactividad, siendo mayormente afectadas las fibras de contracción rápida, debido a su menor utilización en la vida cotidiana.(7)

#### **IV.A.1 Clasificación de la musculatura según morfología y función.**

Según criterios morfológicos y funcionales la musculatura se puede dividir en:

- Músculo liso: No posee estriaciones visibles.
- Músculo estriado: Poseen estriaciones visibles con el microscopio óptico.

A su vez, la musculatura estriada puede subdividirse en musculatura esquelética, músculo cardíaco y musculatura visceral.

- Tejido muscular estriado esquelético: Es el que se encuentra anclado a los huesos, encargándose del movimiento del esqueleto axial y apendicular, y a su vez del mantenimiento de la postura y la posición corporal.
- Tejido muscular estriado visceral: Morfológicamente es igual al músculo esquelético, pero su distribución se encuentra limitada a unos pocos sitios como lo son: la lengua, la faringe, la porción lumbar del diafragma y el segmento superior del esófago. Las funciones principales de este tejido son la fonación, la respiración y la deglución.
- Tejido muscular estriado cardíaco: Se encuentra en las paredes cardíacas y en la desembocadura de las grandes venas del corazón.

Las diferencias principales entre las células musculares esqueléticas y las células musculares cardíacas están en sus tamaños, configuraciones y maneras de distribuirse unas respecto de otras. (7,8)

#### **IV.A.2 Tejido músculo esquelético.**

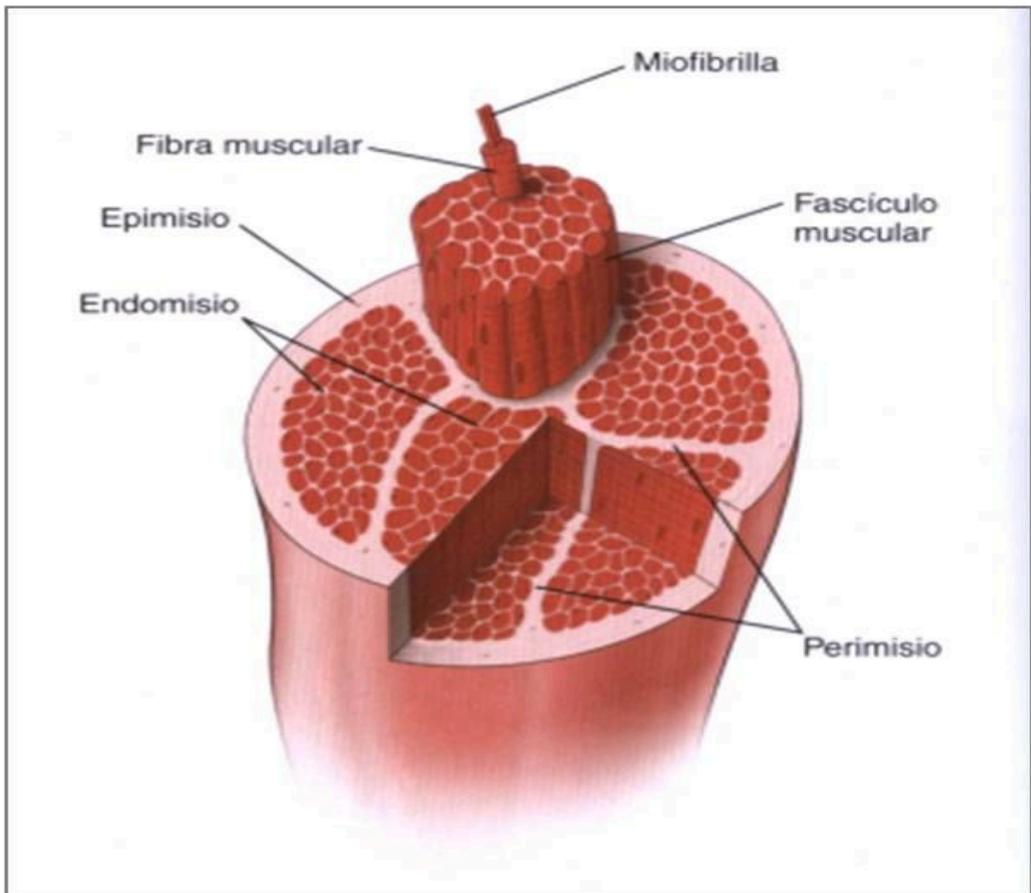
El tejido músculo esquelético se fija a los huesos y tiene a cargo el movimiento del esqueleto axial y apendicular, además del mantenimiento de la postura.(8)

La célula muscular es un sincitio multinucleado, esto quiere decir que la fibra muscular se encuentra formada por la fusión de múltiples pequeñas unidades celulares llamadas mioblastos. (8)

Los núcleos de la fibra músculo-esquelética se encuentran en el citoplasma, justo por debajo de la membrana plasmática, la cual también recibe el nombre de sarcolema.

El músculo esquelético se encuentra rodeado por tejido conectivo, el cual es fundamental para poder mantener unidas estas células musculares estriadas. Este tejido conectivo se compone por 3 capas:

- **Endomisio:** Es una delicada capa de fibras reticulares que rodean inmediatamente las fibras musculares individuales. En esta capa solo hay capilares de calibre muy pequeño y los filetes nerviosos más finos, que transcurren paralelos a las fibras musculares.
- **Perimisio:** Es una capa más gruesa de tejido conjuntivo que rodea un grupo de fibras para formar un haz o fascículo. Los fascículos son unidades funcionales de fibras musculares que actúan en conjunto para desempeñar una unión específica. En el perimisio hay vasos sanguíneos de un calibre mayor y nervios más gruesos.
- **Epimisio:** Es la vaina de tejido conjuntivo denso que rodea todo el conjunto de fascículos que forman el músculo. Los componentes principales de la irrigación y la inervación del músculo penetran esta capa.(8)



**Figura 1.** (8)

En cuanto al metabolismo muscular, podemos decir que las células musculares, al igual que todas las células del cuerpo, dependen de la fuente de energía contenida en los enlaces fosfato de alta energía del ATP y de la fosfocreatina. La energía almacenada en estos enlaces fosfato de alta energía, deriva del metabolismo de ácidos grasos y de la glucosa. La glucosa es el sustrato metabólico primario en el músculo durante la contracción muscular activa.(8)

#### **IV.A.3 Contracción muscular.**

La contracción muscular implica la realización de trabajo y la utilización de energía, principalmente en forma de ATP. Durante este proceso, grandes cantidades de ATP se hidrolizan para formar ADP; la cantidad de ATP hidrolizado aumenta con la magnitud del trabajo realizado por el músculo, fenómeno conocido como efecto Fenn. Se postula que este proceso sigue una secuencia de eventos que se detallan a continuación:(9)

1. Antes del inicio de la contracción, las cabezas de los puentes cruzados se unen al ATP. La actividad ATPasa de la cabeza de miosina hidroliza el ATP, dejando los productos de esta reacción, es decir, ADP y un ion fosfato, unidos a la

- cabeza. En este estado, la conformación de la cabeza permite su unión perpendicular al filamento de actina, pero aún no establece contacto con él.
2. La unión del complejo troponina-tropomiosina a los iones calcio expone los sitios activos en el filamento de actina, permitiendo así que las cabezas de miosina se unan a ellos.
  3. El enlace entre la cabeza del puente cruzado y el sitio activo del filamento de actina induce un cambio conformacional en la cabeza, lo que resulta en su desplazamiento hacia el brazo del puente cruzado. Este movimiento genera la fuerza necesaria para tirar del filamento de actina. La energía para este movimiento proviene de la energía previamente almacenada en la cabeza, similar a un resorte "comprimido" durante la hidrólisis del ATP.
  4. Una vez que la cabeza del puente cruzado se ha desplazado, se libera el ADP y el ion fosfato previamente unidos a ella. Simultáneamente, se une una nueva molécula de ATP al punto de unión de la cabeza con la actina. Esta unión de ATP conduce a la separación de la cabeza de la actina.
  5. Tras la separación de la cabeza de la actina, se hidroliza la nueva molécula de ATP para iniciar un nuevo ciclo, lo que resulta en otro golpe activo. En otras palabras, la energía vuelve a "comprimir" la cabeza en su posición perpendicular, lista para iniciar un nuevo ciclo de contracción.(9),(10)

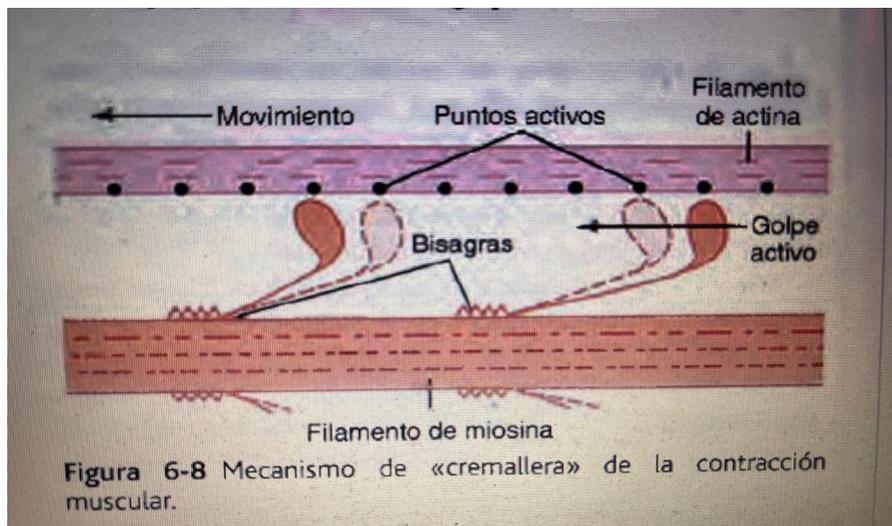


Figura 2. (9)

#### IV.B El ejercicio físico y sus consecuencias.

Los atletas debido a su calendario deportivo dedican un corto tiempo al acondicionamiento competitivo, ya que las cargas de trabajo en ese período son altas

y el tiempo de recuperación es escaso, por ende es lógico que los atletas experimentan signos y síntomas de daño muscular inducido por el ejercicio, cuya resultante es una reducción de la función contráctil originada en microtraumas tisulares iniciados por la alta tensión producida durante las contracciones musculares, especialmente excéntricas y que es exacerbado por las subsiguientes respuestas inflamatorias. La fatiga muscular se hace presente acompañada con dolor y disminución de la función.



**Figura 3.** Atleta post actividad deportiva.

#### **IV.B.1 La fatiga muscular.**

El término fatiga se utiliza para describir la reducción en el rendimiento muscular durante un esfuerzo continuo que como consecuencia da una sensación de cansancio generalizado. Una de las diferencias que tiene la fatiga con respecto a la debilidad, es que la primera mencionada, revierte con el reposo, de manera que el cuerpo tiene la capacidad de volver a generar la misma potencia muscular con el correr del tiempo.(10)

La fatiga puede deberse tanto a una función muscular deteriorada, denominada "fatiga periférica", como a una reducción en la capacidad del sistema nervioso central para activar los músculos, denominada "fatiga central".(12)

En general, las principales causas de la fatiga muscular son:

- Mala organización del plan de entrenamiento: sobreentrenamiento, falta de sueño o planificación inadecuada de los tiempos de recuperación.

- Insuficiente recuperación o malas estrategias de recuperación de los depósitos energéticos. La depleción del glucógeno se asocia con la fatiga, la menor liberación de calcio, inhibición de la contractibilidad y la mayor destrucción muscular.

- Rápido aumento de las exigencias de entrenamiento. Tras un periodo de descanso, los deportistas antes de empezar a entrenar deben obtener la forma física adecuada mediante un período de adaptación.

- Cargas de alta intensidad empleadas en exceso. El organismo necesita adaptarse, y se observa un aumento en el cortisol sanguíneo.

- Participar en pocas competiciones. Las tendencias actuales, son competir menos, lo que lleva a entrenar más intensamente y a no descansar adecuadamente, debido a que cuando se prepara una competición, los días anteriores se reduce la carga de entrenamiento. (13)

Otras causas de la fatiga muscular pueden ser debido a frecuentes alteraciones de los hábitos de vida. La realización de viajes a un país con una zona horaria diferente a donde el deportista vive habitualmente, que puede ocasionar “jet lag” también conocido como descompensación horaria. Este fenómeno puede tener efectos perjudiciales sobre el rendimiento de los atletas, debido al trastorno o desincronización del ritmo circadiano, que a su vez influye sobre el rendimiento deportivo. (14)

Además, los músculos con gran proporción de fibras tipo I son más resistentes a la fatiga que los que contienen más fibras tipo IIa y IIb debido al distinto acúmulo de metabolitos. Las fibras tipo IIa se asocian con el metabolismo láctico, y esta vía energética genera gran acidificación muscular, limitando los procesos enzimáticos para obtener energía. (15)

En este sentido el origen de la fatiga muscular aguda es multifactorial, debido a:

- Alteraciones del pH muscular: la glucogenólisis y la posterior glucólisis anaeróbica incrementan el acúmulo de iones hidrógeno, lo que disminuye el pH muscular. Esto afecta a la bomba sodio-potasio, encargada de intercambios de iones entre el medio extracelular y citoplasma para mantener una homeostasis celular adecuada.

- Temperatura: el músculo aumenta su temperatura para funcionar al mayor potencial, pero, si aumenta mucho, el funcionamiento empeora. Asimismo, si la temperatura central se incrementa por encima de 39 °C, ésta afectará a nivel enzimático, además de que se observan las primeras consecuencias relacionadas a la deshidratación y al aumento de la temperatura corporal.

- Flujo sanguíneo: en una situación de deshidratación, la cantidad de agua extracelular y de sangre total disminuyen, en consecuencia hay una menor oxigenación, reduciendo la disponibilidad de nutrientes por parte del músculo.

- Alteración de la homeostasis de iones de calcio o fósforo inorgánico: El incremento de fósforo inorgánico en las miofibrillas proviene de la hidrólisis de la fosfocreatina y dificulta la contracción muscular al reducir la sensibilidad al calcio. Es característico de actividades de gran componente anaeróbico.
- Acúmulo de productos del metabolismo: destacan las alteraciones en la concentración muscular de lactato, hidrógeno, potasio y calcio.
  - Estrés oxidativo: destaca la acumulación de las especies reactivas de oxígeno (ROS), generadas al realizar actividad física aeróbica durante mucho tiempo, en hipoxia o altitud.

La acumulación de ROS altera la homeostasis del calcio y es capaz de generar daños en las proteínas, el DNA, el RNA y los lípidos celulares. (16)

Aunque sigue siendo objeto de debate sobre su fiabilidad y relevancia, otros posibles marcadores de fatiga muscular son el peróxido de hidrógeno, vitamina E, albúmina, ácido ascórbico, proteína C reactiva y otros marcadores inflamatorios como el factor de necrosis tumoral- $\alpha$  o las interleucinas (IL).

Los mejores marcadores para el seguimiento de la fatiga muscular intensa son: IL6, lactato, sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico, oxipurinas y fosfato inorgánico. Sin embargo, los marcadores que reflejan mejor la fatiga de baja intensidad son los parámetros sanguíneos: lactato, leucocitos y sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico.

La recuperación de la fatiga muscular y la reanudación de la función normal se controlan mediante el recuento de leucocitos e IL6 en sangre.(17)

#### **IV.B.2 Daño muscular inducido por el ejercicio.**

El daño muscular inducido por el ejercicio (Exercise Induced Muscle Damage, EIMD) es un tipo de lesión muscular ultraestructural. La manifestación del EIMD es causada por formas de ejercicio excéntricas o desconocidas.(18) Los signos clínicos incluyen capacidad de fuerza reducida, mayor restricción dolorosa del movimiento, rigidez, hinchazón y disfunción de las articulaciones adyacentes. Aunque el DOMS se considera un tipo de lesión leve, es una de las razones más comunes de rendimiento deportivo comprometido. (19)

El mecanismo del EIMD es el siguiente:

Lesiones estructurales: Se encuentra ampliamente consensuado que el deterioro muscular acontece como respuesta a la sobreextensión de los sarcómeros menos robustos durante la fase excéntrica de la contracción. Uno de los mecanismos postulados para explicar este fenómeno sostiene que no todos los sarcómeros poseen la misma longitud y que únicamente algunos experimentan la elongación (y

consiguiente daño) durante dichas contracciones. Según este modelo, la ruptura ocurre cuando los sarcómeros se extienden más allá de la superposición de los miofilamentos de actina y miosina. Cuando la región de ruptura de los sarcómeros es lo suficientemente extensa, también resultan dañadas la membrana de la fibra, los túbulos T, el retículo sarcoplásmico y otros componentes del citoesqueleto.(18,(20),(21)

Los componentes del citoesqueleto afectados, cuya función principal radica en la transmisión de fuerza desde los sarcómeros hasta la membrana, incluyen aquellos cruciales para el mantenimiento de la estructura del disco Z, la organización de los sarcómeros y la integridad de la membrana celular. Entre estos elementos se cuentan algunos ubicados dentro de la región sarcomérica, como la titina, y otros fuera del sarcómero, como la desmina y la distrofina. La titina es en gran medida responsable de las propiedades de resistencia a las cargas pasivas de la fibra y de la variabilidad en la rigidez entre músculos. La desmina es una proteína que conforma una red alrededor del sarcómero en el nivel de las líneas Z, conectando estos discos entre sí y con la membrana plasmática, y estableciendo enlaces cruzados estabilizadores entre miofibrillas adyacentes. La distrofina, por su parte, es una proteína extensa que vincula la laminina, componente de la membrana de la fibra, con los filamentos de actina. Su ausencia se relaciona con la debilidad muscular, dado que contribuye a mantener la integridad de la misma durante las tensiones mecánicas generadas por las contracciones.(20)

Se ha propuesto también la influencia del aumento de la temperatura durante el ejercicio en el daño muscular. Se sugiere que el incremento de la temperatura podría potenciar la actividad de la enzima Q10, lo que a su vez incrementaría la degradación estructural de lípidos y proteínas. Además, podría reducir la viscosidad de la membrana celular, facilitando así la acción de la fosfolipasa A2 y provocando la consiguiente degradación de la membrana. (20)

Otras teorías postulan que el daño muscular es inducido por factores metabólicos, como la disminución del pH o la reducción de ATP intracelular, o por la generación de radicales libres durante la cadena de transporte de electrones. Sin embargo, según estas teorías, se esperaría un mayor daño muscular con el ejercicio concéntrico debido al mayor gasto metabólico asociado, algo que no se observa en la práctica. Por ende, aunque condiciones como niveles bajos de ATP puedan contribuir al incremento del daño muscular, no son las únicas responsables del mismo.(20)

Deterioro químico: En el espacio extracelular se observa una mayor concentración de calcio en comparación con el sarcoplasma (2-3 mmol/L frente a 0,1  $\mu$ mol/L). Este ion penetra en la célula a través de canales regulados por cargas eléctricas y es almacenado en el retículo sarcoplásmico. Cuando la célula experimenta despolarización, el  $Ca^{++}$  es liberado del retículo sarcoplásmico (RS) y pasa al citoplasma siguiendo el estímulo eléctrico de la membrana. Una vez en el citosol, el calcio se une a la troponina y transmite la señal a los filamentos de actina, lo que, en presencia de ATP, permite la contracción de estos filamentos, acortando la longitud de los sarcómeros. Posteriormente, el calcio liberado vuelve a ser captado por el RS en cuestión de milisegundos gracias a la actividad de la bomba Ca-ATPasa y a la acción de enzimas como la calsecuestrina (9). Así, los niveles de calcio intracelular son regulados y mantenidos en un rango adecuado principalmente gracias a la coordinada actividad de mecanismos de transporte en la membrana y en el RS. Sin embargo, a pesar de que bajo condiciones normales la concentración de calcio intracelular esté controlada dentro de rangos adecuados, durante el ejercicio este gradiente puede variar debido a diversos procesos: (20)

- Entrada de calcio extracelular mediante la activación de canales iónicos mecano-sensibles, los cuales son regulados por impulsos mecánicos y se abren ante el estiramiento de la membrana celular, como ocurre en las contracciones excéntricas.
- La ruptura de la membrana celular también puede alterar este gradiente, aumentando la concentración de calcio intracelular. Además, la concentración de calcio en el RS es mayor en comparación con el sarcoplasma, y la ruptura de su membrana permitiría un flujo de calcio hacia el citosol.
- Un fallo en los mecanismos de entrada de calcio en el RS, aunque su membrana no esté rota, también resultaría en un aumento de los niveles de calcio citosólico (debido a la disminución de ATP, la inhibición de la bomba Ca-ATPasa, entre otros).

El aumento de la concentración de calcio en el sarcoplasma activa diversos mecanismos moleculares en el músculo esquelético, incluyendo enzimas dependientes del calcio como la fosfolipasa A2 y la calpaina proteolítica. La fosfolipasa A2 promueve adicionalmente el daño muscular al contribuir a la eliminación de la membrana celular, lo que resulta en la pérdida de moléculas intracelulares. Por otro lado, las calpainas proteolíticas son responsables de iniciar la descomposición de las

miofibrillas, la degradación y ruptura de los discos Z y la desintegración del citoesqueleto.(20)

Proceso inflamatorio: El daño ocasionado por el ejercicio excéntrico conlleva una respuesta inflamatoria. Los productos degenerativos de la fibra muscular, especialmente los polisacáridos tisulares, atraen a los leucocitos hacia la célula mediante el proceso de quimiotaxis, lo que da inicio al proceso inflamatorio (9,18,20). Además del daño muscular inducido por el ejercicio, se produce un incremento en la concentración de citocinas, principalmente IL-1, IL-6 y TNF $\alpha$ , activadas por el aumento en los radicales libres y las prostaglandinas, lo que intensifica el proceso inflamatorio. Este proceso inflamatorio también se ve favorecido por el aumento de los niveles de calcio intracelular, que induce una mayor expresión de los genes de transcripción que activan a los macrófagos y los polinucleares. Los fluidos, proteínas plasmáticas y células inflamatorias se infiltran en el tejido dañado con el propósito de limpiar los desechos del área afectada y prepararla para la regeneración. Los neutrófilos son las primeras células en acumularse en el tejido en la zona lesionada (aproximadamente a las 2 horas), fagocitando el tejido necrosado. Posteriormente, otras células leucocitarias, como los macrófagos, entran en acción. Además de su actividad fagocítica, los neutrófilos liberan radicales libres de oxígeno (ROS) y proteasas, que pueden continuar causando daño muscular (daño muscular retardado). Debido a la liberación de estas sustancias y al hecho de que el pico máximo de daño se produce al mismo tiempo que la máxima invasión de neutrófilos en el área dañada, hay una corriente que vincula la actividad de estos leucocitos con el mayor deterioro tisular. Estos autores sugieren que se debe evitar el daño causado por los radicales libres (mediante intervención farmacológica con antioxidantes, por ejemplo), pero fomentar la fagocitosis para eliminar los desechos celulares. Por lo tanto, la inflamación en sí no debe ser evitada, ya que también facilita la recuperación tisular.(20)

Recuperación tisular: Se ha sugerido que la presencia de estas células inflamatorias está relacionada con la reparación y remodelación a través de la activación de las células satélite. Estas células no se dividen, excepto cuando son requeridas para reemplazar a las fibras musculares muertas. Cuando lo hacen, una de las "hermanas" queda como satélite, y las otras se diferencian, adquiriendo un estrecho control neuronal y la capacidad de formar sarcómeros.(20)

Durante la inflamación, en las células dañadas los leucocitos generan péptidos llamados "factores de competencia". Cuando se liberan estos "factores de

competencia” las células satélite pasan del estado “Go” o inactivo al estado de actividad (G1) donde aumenta la replicación de ácido desoxirribonucleico (ADN).(20)

La figura 3 muestra un resumen de los eventos dañinos iniciados por el estrés del ejercicio.

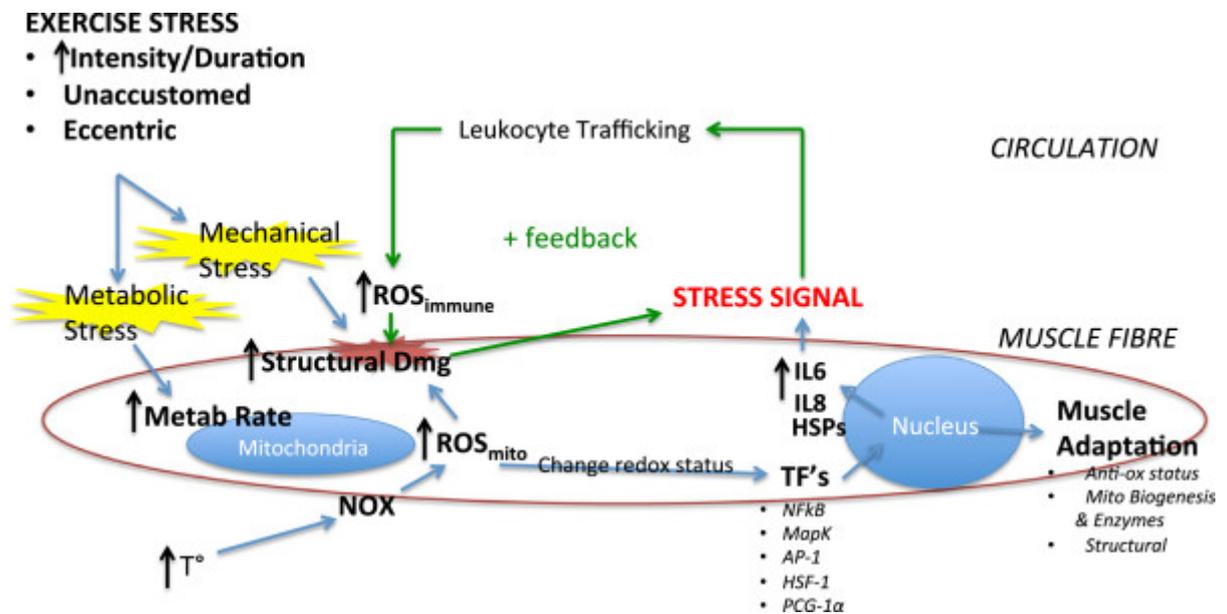


Figura 4. (21)

#### IV.B.3 Período de recuperación deportiva.

La recuperación es un proceso multinivel (psicológico, fisiológico y social) para el restablecimiento de las habilidades de rendimiento, que deberá focalizarse en todos sus niveles posibles. El principal objetivo de la recuperación será devolver el cuerpo y la mente a los niveles en los que se encontraban antes de la actividad con la mayor celeridad posible. (21)

La fatiga producida tras la competición o el entrenamiento de alta intensidad puede estar relacionada con múltiples factores, tanto a nivel periférico como central, como se comentó con anterioridad. Por este motivo, se debe incluir una estrategia de recuperación la cual pueda afrontar al mayor número de causas posibles de fatiga.(21) Existe un patrón de recuperación bifásico del rendimiento muscular que incluye una fase de rápida recuperación relacionada con la fatiga metabólica tras las primeras horas después del ejercicio (regeneración energética), seguida de una fase más lenta de recuperación que se llevará a cabo en los días posteriores centrada en el daño muscular (regeneración estructural). (21)

En cuanto a la fisiología podemos decir que, al realizar ejercicios físicos en el organismo ocurren los procesos de disgregación y restablecimiento de las sustancias y enlaces químicos, ricos en energía, con la particularidad de que los primeros prevalecen sobre los segundos. Una vez finalizado el ejercicio, transcurren cambios inversos en la actividad de los sistemas funcionales que garantizaban la ejecución de este ejercicio. La totalidad de cambios en dicho período se sintetiza en el concepto de restablecimiento. A lo largo del período de recuperación se eliminan los productos del metabolismo ligado con el trabajo y se completan las reservas energéticas, las sustancias plásticas o estructurales (proteínas y otras) y las enzimas consumidas en el curso de la actividad muscular. En esencia, se restablece la homeostasis alterada por el trabajo.(22)

La rehabilitación después de cargas físicas significa no sólo el retorno de las funciones del organismo a su estado pre laboral, sino que en este período se operan, asimismo, cambios que aseguran el crecimiento de las capacidades funcionales del organismo. El desarrollo progresivo del nivel de preparación del deportista se debe a que las respuestas residuales, registradas en el organismo después de algunas cargas de entrenamiento, no se suprimen, sino que se conservan y se arraigan.(22)

En el período de restablecimiento es posible distinguir 4 fases:

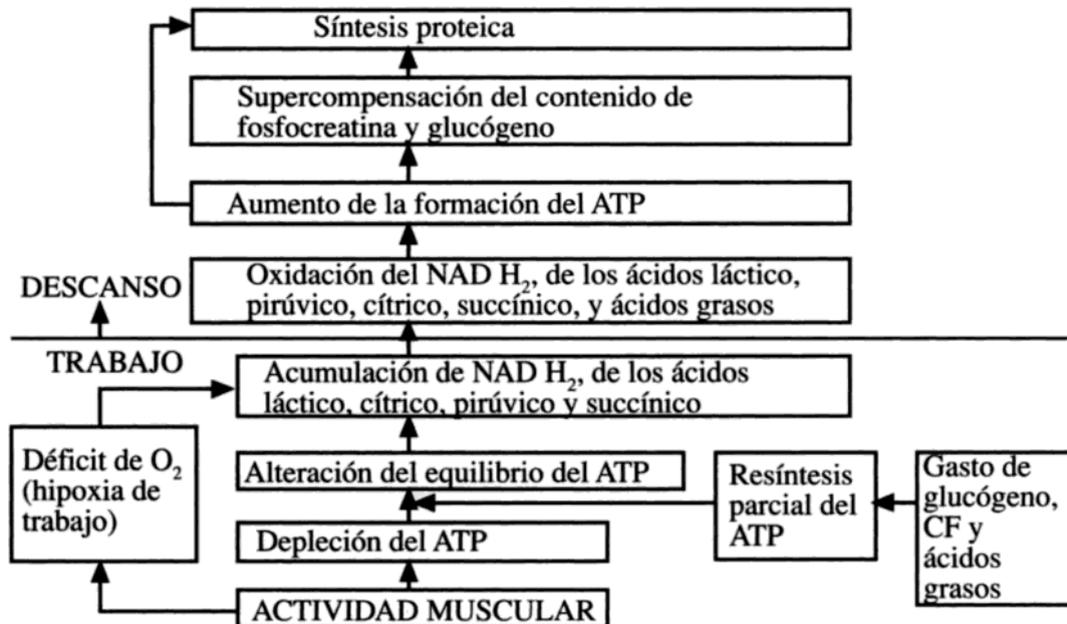
- 1) De restablecimiento.
- 2) De restablecimiento demorado.
- 3) Supercompensación.
- 4) Restablecimiento duradero.

La presencia de estas fases, su duración y carácter, varían grandemente para las distintas funciones. A las primeras dos fases les corresponde el período de restablecimiento de la capacidad de trabajo, reducida a causa de una labor agotadora; a la tercera un rendimiento elevado; a la cuarta, el retorno al nivel normal (prelaboral) de capacidad de trabajo.(22)

La velocidad y la duración del restablecimiento de la mayoría de los índices funcionales se halla en dependencia directa de la potencia de trabajo; cuanto mayor sea la potencia del trabajo mayores cambios ocurrirán sobre el trabajo y, por consiguiente, más alta será la velocidad del restablecimiento. Esto quiere decir que cuanto más corta es la duración del ejercicio, más breve será el período de recuperación.(22)

Para alcanzar la recuperación muscular, es necesario tener una estrategia de recuperación, es decir, una planificación a la hora de abordar el proceso mencionado con anterioridad, la cuál a su vez se encuentra compuesta por técnicas de recuperación. Estas técnicas de recuperación serán las herramientas con las cuáles se

lleva a cabo las estrategias de recuperación, entre las que se destaca la crioterapia como una de las opciones más conocidas.(22)



**Figura 5.** Sucesión de la biosíntesis de reparación de los tejidos musculares durante el tiempo de descanso después de la ejecución de ejercicios. (22)

#### IV.C. Crioterapia.

La crioterapia es la aplicación local o sistémica de frío con fines terapéuticos y es una de las modalidades físicas más usadas en fisioterapia; históricamente se ha utilizado, de manera prioritaria, en el tratamiento de lesiones agudas. La disminución de la temperatura es el efecto principal a partir del cual se generan cambios en diferentes tejidos y/o sistemas, esta depende del tipo, tiempo de aplicación y capacidad para absorber y transferir calor a los tejidos.(23)

En la medicina deportiva la crioterapia es ampliamente utilizada como una estrategia de recuperación posterior al ejercicio para reducir los efectos del EIMD y acelerar la recuperación.(24)

Además, es uno de los medios más utilizados para el tratamiento del dolor producto de disfunciones de origen musculoesquelético. La evidencia, tanto neurofisiológica como clínica, sugiere que su uso reduce el flujo sanguíneo local, la tasa metabólica de los tejidos y la velocidad de conducción nerviosa; estos efectos tisulares son los responsables de los resultados terapéuticos atribuidos a la crioterapia, entre los cuales están:

disminución del dolor, de la reacción inflamatoria y retraso en la formación de edema. La reducción del diámetro del lumen del vaso sanguíneo causa una disminución significativa del flujo de sangre del tejido subcutáneo, con lo cual se aminora la filtración de fluido al intersticio y al edema secundario, se controla la inflamación y se disminuyen tanto el dolor como la liberación de sustancias vasoactivas.(21,22,23,) El efecto analgésico de la crioterapia se fundamenta en algunos cambios evidenciables en la electrofisiología neuromuscular, además, se asocia a la disminución local de la temperatura cutánea, produciendo un retraso tanto en la apertura como en el cierre de los canales de sodio; de este modo, hay un enlentecimiento de las corrientes de sodio responsables de la despolarización de las fibras nerviosas y/o musculares, lo que se traduce finalmente en una reducción de la velocidad de conducción nerviosa del axón. El hecho de tener un periodo refractario más largo condiciona, además, una disminución del potencial de acción que, sumada a la disminución de la frecuencia de descarga del nociceptor, explicaría el aumento del umbral del dolor y el potencial efecto hipoalgésico atribuido a la crioterapia. La disminución de la tasa metabólica también reduce la demanda de oxígeno de los tejidos y reduce al mínimo las posibilidades de una herida hipóxica secundaria de los tejidos debido a la isquemia.(22,21) Adicionalmente, se ha postulado que la reducción del flujo sanguíneo y la disminución del edema disminuiría la compresión mecánica de estructuras vasculonerviosas sensibles a la presión y, de esta forma, se produciría un alivio del dolor por causa mecánica.(25)



**Figura 6.** Aplicación de crioterapia mediante “cold pack”.

#### **IV.C.1 Baños de inmersión con crioterapia.**

La inmersión en agua fría corresponde a una de las intervenciones más utilizadas en la medicina deportiva, orientada principalmente a minimizar el dolor muscular de inicio tardío y promover la recuperación después del ejercicio.(26)

La administración de inmersión en agua fría consiste en sumergir el cuerpo completo de un sujeto o partes de sus extremidades en recipientes que contengan agua y hielo. Esta inmersión se efectúa en forma inmediata luego de ejecutado el ejercicio.(27)

El efecto que se consigue mediante el empleo de esta técnica, depende principalmente de la temperatura a la que se encuentra el agua. El uso de agua a 15° durante una duración de 15 minutos es útil para conseguir una disminución del riego sanguíneo a las piernas y brazos, induciendo una redirección hacia las partes centrales del cuerpo, mejorando el retorno venoso y la efectividad cardiaca . También es posible que produzca una disminución de inflamación muscular y efecto analgésico de corta duración, relacionado con la reducción de la velocidad de conducción nerviosa, de la actividad del huso muscular, de la respuesta del reflejo de estiramiento y espasticidad, inhibiendo el ciclo de dolor-espasmo.(28)

El fundamento de la inmersión en agua fría se basa principalmente en las micro lesiones que producen el ejercicio excéntrico o las actividades deportivas poco habituales sobre los tejidos blandos, ya que las zonas que son expuestas al frío inmediatamente después del ejercicio, podrían tener un efecto de modulación en la inflamación sobre los tejidos afectados, reduciendo de esta manera el dolor muscular de inicio tardío. Otras de las teorías propuestas para fundamentar esta acción, se basan en el efecto de vasoconstricción (disminución del diámetro del vaso sanguíneo) en la musculatura sumergida la que estimularía el retorno del flujo sanguíneo, así como el transporte de residuos metabólicos y nutrientes a través del cuerpo después del ejercicio. También a estos efectos se asocian una reducción en la velocidad de conducción nerviosa y alteración en los umbrales de los receptores del dolor, ocasionando una disminución de la percepción del mismo. Otros estudios han reportado un mecanismo psicológico asociado a la inmersión en agua fría, mediante el cual se describe que el sujeto percibiría el cuerpo “más activo” después de la intervención, generando una disminución en la percepción de fatiga muscular luego del ejercicio.(29)



**Figura 7.** Baños de inmersión con crioterapia.

## **V. Material y métodos.**

Se realizó una revisión bibliográfica de los artículos publicados desde el 2014 al 2024 de todos los artículos que se encuentren en las plataformas PubMed, Biblioteca Virtual de Salud y Biblioteca Electrónica MINCYT. Dentro de los criterios de búsqueda para la selección de artículos, se tuvo en cuenta:

- 1) Publicaciones en idioma español, inglés o portugués.
- 2) Fecha de publicación de los últimos 10 años (2014-2024).
- 3) Publicaciones a texto completo gratis.
- 4) Estudio realizado en humanos.
- 5) Edad de los participantes mayor a 18 años.

Adicionalmente que cumplieran con los siguientes criterios de inclusión: que se apliquen baños de inmersión con crioterapia con el fin de la recuperación deportiva y que incluya las variables dolor y/o sensación subjetiva de esfuerzo y/o fuerza.

Se excluyeron aquellos artículos en los cuales los baños de inmersión con crioterapia no sean utilizados con el fin de la recuperación deportiva.

Para la búsqueda se tuvieron en cuenta las siguientes palabras claves:

#	Término libre	DeCS	MeSH
#1	Crioterapia	Crioterapia	Cryotherapy
#2	Recovery		
#3	Medicina deportiva	medicina deportiva	Sports Medicine
#4		Hidroterapia	Hydrotherapy
#5	Cold water		
#6		Fatiga muscular	Muscle fatigue

**Tabla 1:** Palabras claves de la estrategia de búsqueda.

## **V.A. Combinación de palabras claves.**

- (Cryotherapy[MeSH Terms]) AND (recovery)
- ((Cryotherapy[MeSH Terms]) AND (sports medicine [MeSH Terms] )) AND (cold water)
- ((Cryotherapy[MeSH Terms]) AND (cold water)) AND (muscle fatigue[MeSH Terms])
- (((Cryotherapy[MeSH Terms]) AND (sports medicine[MeSH Terms])) AND (hydrotherapy[MeSH Terms])) AND (muscle fatigue[MeSH Terms])
- (((((Cryotherapy[MeSH Terms]) OR (hydrotherapy[MeSH Terms])) OR (cold water)) AND (recovery)) AND (sport medicine[MeSH Terms])) AND (muscle fatigue[MeSH Terms])
- (Recovery) AND (cold water)
- (Hydrotherapy[MeSH Terms]) AND (cold water)

## **VI. Resultados.**

### **VI.A. Selección de artículos.**

Los artículos identificados mediante la estrategia de búsqueda se recopilaron en una base de datos (hoja de cálculo, Excel) para facilitar su gestión y aplicar los filtros correspondientes. El primer filtro consiste en observar el título y año de publicación, el segundo en descartarlos por repetición es decir observar si los mismos se encontraban por duplicado en alguna de las bases analizadas y/o utilizados en alguno otro apartado de la tesis y el tercer filtro consiste en llevar a cabo una lectura completa de los títulos, resúmenes y textos completos de los artículos para posteriormente aplicar los criterios de inclusión y exclusión establecidos previamente.

### **VI.B. Análisis de datos.**

En total fueron recuperados 1626 artículos usando las combinaciones de palabras claves, términos DeCS y MeSH mencionadas anteriormente. Luego de aplicar los filtros de búsqueda (fecha de publicación de los últimos 10 años, a texto completo gratis, estudio en humanos, y edad mayor a 18 años) y de excluir a los artículos que se encontraban repetidos quedaron disponibles 172 artículos.

De estos 172, fueron utilizados para el análisis 6 artículos los cuales cumplían con los criterios de inclusión (que se apliquen baños de inmersión con crioterapia con el fin de la recuperación deportiva, que incluya las variables dolor y/o sensación subjetiva de

esfuerzo y/o fuerza y que los artículos se encuentren en idioma español, inglés o portugués) y criterios de exclusión (que los baños de inmersión no sean con el fin de la recuperación deportiva).

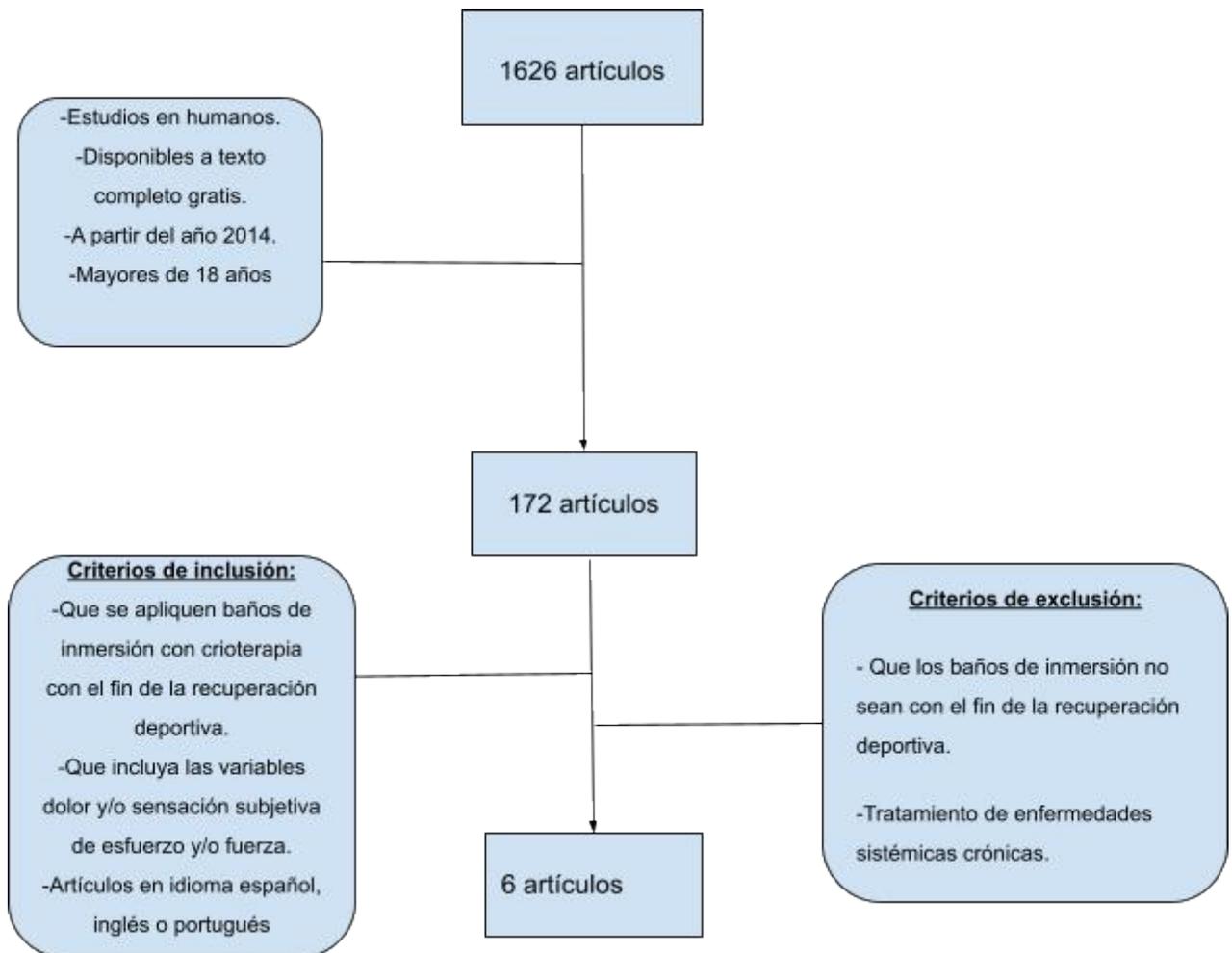


Figura 8. Diagrama de flujo para la selección de artículos científicos.

## VI.C.Análisis de la bibliografía.

VI.C.1: Jackson F Fyfe y cols. “Cold water immersion attenuates anabolic signaling and skeletal muscle fiber hypertrophy, but not strength gain, following whole-body resistance training” (30)

En este estudio se buscó evaluar como la inmersión en agua fría post ejercicio podría afectar a la señalización anabólica, junto con la hipertrofia y la fuerza.

Participaron 16 hombres, los cuales realizaron un entrenamiento de resistencia 3 días a la semana durante un período de 7 semanas. Luego del entrenamiento, el protocolo de recuperación se dividió en dos grupos: La mitad de los evaluados (8 hombres) formaron parte del protocolo de inmersión en agua fría (CWI), el cual constaba de 15 minutos de inmersión en agua a 10°C, mientras que el grupo restante (grupo control)

participaba de la recuperación pasiva, la cual consistía en realizar un descanso de 15 minutos a 23°C.

Se evaluó el rendimiento del ejercicio prensa de piernas y press de banca en una repetición máxima (1RM), salto con contramovimiento, salto en cuclillas y flexión balística, la composición corporal y las respuestas moleculares tras el ejercicio, antes y después del entrenamiento.

En conclusión, los baños de inmersión con crioterapia reducen el crecimiento muscular inducido por el entrenamiento de resistencia, pero no generan efectos negativos en la fuerza. Se sugiere evitar la CWI después del ejercicio si lo que se desea es la ganancia de masa muscular.

VI.C.2: Lilion A Roberts y cols. "Post-exercise cold water immersion attenuates acute anabolic signalling and long-term adaptations in muscle to strength training" (31)

Esta serie de casos tuvo como objetivo estudiar las adaptaciones funcionales, morfológicas y moleculares al ejercicio de entrenamiento de fuerza y la inmersión en agua fría (CWI) a través de dos estudios separados.

En un estudio, 21 hombres físicamente activos entrenaron la fuerza durante 12 semanas (2 días por semana), con 10 minutos de CWI o recuperación activa (ACT) después de cada sesión de entrenamiento. La fuerza y la masa muscular aumentaron más en el grupo ACT que en el grupo CWI ( $P < 0,05$ ). El trabajo isocinético (19%), el área transversal de la fibra muscular tipo II (17%) y el número de mionúcleos por fibra (26%) aumentaron en el grupo ACT (todos  $P < 0,05$ ), pero no en el grupo CWI.

En otro estudio, nueve hombres activos realizaron una serie de ejercicios de fuerza de una sola pierna en días separados, seguidos de CWI o ACT. Se recogieron biopsias musculares antes y 2, 24 y 48 h después del ejercicio. El número de células satélite que expresan la molécula de adhesión celular neural (NCAM) (10–30%) y la proteína paired box (Pax7) (20–50%) aumentó 24–48 h después del ejercicio con ACT. El número de células satélite NCAM + aumentó 48 h después del ejercicio con CWI. El número de células satélite NCAM + - y Pax7 + -positivas fue mayor después de ACT que después de CWI ( $P < 0,05$ ). La fosforilación de la quinasa p70S6 Thr421/Ser424 aumentó después del ejercicio en ambas condiciones, pero fue mayor después de ACT ( $P < 0,05$ ). Estos datos sugieren que la CWI atenúa los cambios agudos en el número de células satélite y la actividad de las quinasas que regulan la hipertrofia muscular, lo que puede traducirse en menores ganancias a largo plazo en la fuerza muscular y la hipertrofia.

VI.C.3: Angelina Freitas Siqueira y cols. “Multiple Cold-Water Immersions Attenuate Muscle Damage but not Alter Systemic Inflammation and Muscle Function Recovery: A Parallel Randomized Controlled Trial”(32)

Este estudio investigó los efectos de múltiples inmersiones en agua fría (CWI) sobre la función muscular, los marcadores de daño muscular, la inflamación sistémica y la degradación de la matriz extracelular después del daño muscular inducido por el ejercicio (EIMD).

Veintinueve hombres físicamente activos participaron en este estudio de ensayo controlado aleatorio paralelo y fueron asignados a uno de los dos grupos paralelos: (1) grupo de control o (2) grupo CWI.

Primero realizaron un protocolo para inducir al daño muscular mediante el ejercicio, el cual consistía de cinco series de 20 saltos desde una caja de 60 cm con dos minutos de descanso entre series. Después de dejarse caer desde la caja y aterrizar en el suelo, instruyeron a los participantes para que realizaran un salto vertical explosivo máximo y luego aterrizaran en el suelo. Luego se les indicó que flexionaran las rodillas al menos 90° (0° = extensión completa) durante todos los aterrizajes y que mantuvieran las manos en las caderas durante los saltos. Sumado a lo dicho con anterioridad, fueron animados verbalmente a realizar el máximo esfuerzo durante cada repetición de salto.

Luego de realizar dicho entrenamiento, el grupo CWI realizó una inmersión (10 °C durante 20 min) y cada 24 h durante las siguientes 72 h, mientras que el grupo de control permaneció en posición sentada durante estos períodos correspondientes.

La fuerza muscular, la altura del salto vertical, el grosor muscular, el dolor muscular de aparición tardía (DOMS), la creatina quinasa sistémica (CK), la proteína C reactiva (CRP), las citoquinas inflamatorias y la actividad de la metaloproteinasa de matriz-2 (MMP-2) se evaluaron antes, después, 24, 48, 72, 96 y 168 h después de EIMD.

En conclusión, múltiples CWI atenuaron el daño muscular, pero no alteraron la inflamación sistémica ni la recuperación de la función muscular.

VI.C.4: Lilion A Roberts y cols. “Effects of cold water immersion and active recovery on hemodynamics and recovery of muscle strength following resistance exercise”(33)

En el siguiente estudio experimental, se investigó los efectos de la inmersión en agua fría (CWI) y la recuperación activa (ACT) sobre el gasto cardíaco, la oxigenación muscular, el volumen sanguíneo, la temperatura muscular y la fuerza isométrica tras el ejercicio de resistencia.

En días separados, diez hombres (n=10) realizaron ejercicios de resistencia unilateral con la pierna dominante, donde especialmente se buscó estimular el músculo cuádriceps mediante extensiones isocinéticas máximas de rodilla. El ritmo de repetición se fijó en 0,5 Hz mediante una señal acústica, y la velocidad de flexión de la rodilla se fijó en 250 °/s para permitir la flexión pasiva tras cada extensión de rodilla.

Luego del entrenamiento, los participantes realizaron 10 minutos de CWI a 10°C o 10 minutos de ACT (ciclismo de baja intensidad).

Como conclusión final, la CWI redujo el gasto cardíaco, el volumen sanguíneo y la temperatura tisular, y además ayudó a mantener la fuerza muscular tras el ejercicio de resistencia. Por el contrario, la ACT, mantuvo el gasto cardíaco, la hemodinamia y la temperatura tisular, y también, redujo la fuerza muscular tras el ejercicio de resistencia.

VI.C.5: Lilion A Roberts y cols. “Cold water immersion enhances recovery of submaximal muscle function after resistance exercise”<sup>(34)</sup>

En este estudio aleatorizado y cruzado, se evaluó el efecto de la inmersión en agua fría (CWI) en la recuperación de la función muscular y las respuestas fisiológicas después del ejercicio de resistencia de alta intensidad.

Diez hombres físicamente activos (n=10) realizaron ejercicio de resistencia de alta intensidad, el cual consistió en: 6 series de sentadillas frontales y dorsales con cargas correspondientes a 8,8,10,12,10 y 10 repeticiones máximas (RM); 3 series de 12 estocadas con mancuernas caminando con una masa total correspondiente al 40% de la masa corporal; y 3 series de 12 saltos en contramovimiento desde una altura de 50 cm. El tiempo de recuperación entre series fue de 90 segundos, y de 120 segundos entre ejercicios.

Una vez terminado el entrenamiento los participantes realizaban una intervención de recuperación, la cual podía ser 10 minutos de inmersión en agua fría con una temperatura del agua a 10°C, donde el participante se sumergía dentro de una bañera inflable hasta la clavícula; o podía ser una recuperación activa de 10 minutos mediante un bici ergómetro a una intensidad baja seleccionada por ellos mismos.

Los resultados arrojaron que la CWI después del ejercicio de resistencia, permite a los atletas completar más trabajo durante las sesiones de entrenamiento posteriores, lo que podría mejorar las adaptaciones al entrenamiento a largo plazo.

VI.C.6: Lílian Beatriz Fonseca y cols. “Use of Cold-Water Immersion to Reduce Muscle Damage and Delayed-Onset Muscle Soreness and Preserve Muscle Power in Jiu-Jitsu Athletes”(35)

Este estudio cruzado investigó los efectos de la inmersión en agua fría (CWI) sobre el daño muscular, el dolor muscular percibido y la recuperación de la potencia muscular de las extremidades superiores e inferiores después del entrenamiento de jiu-jitsu.

Un total de 8 atletas masculinos altamente entrenados fueron la población a estudiar.

Primero se realizó un protocolo de entrenamiento, el cual representó una sesión típica, caracterizada por un esfuerzo progresivo y exhaustivo. Cada sesión de entrenamiento comprendió la siguiente estructura: 40 minutos cada uno de ejercicios generalizados (calistenia), entrenamiento técnico y simulación de combate. Una vez finalizado el entrenamiento, los participantes se dividieron en dos grupos: la mitad de la muestra inició su recuperación mediante CWI ( $6,0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) durante 19 minutos; mientras que los demás participantes fueron asignados a la condición de control (recuperación pasiva). Luego de una semana, a la segunda sesión, los tratamientos se revirtieron.

Como conclusión final, la inmersión en agua fría puede ser beneficiosa para los atletas de jiu-jitsu porque disminuye los marcadores de daño muscular, reduce la percepción de dolor, y además ayuda a la recuperación de las extremidades superiores e inferiores.

Por ende, los atletas de jiu-jitsu podrían utilizar la inmersión en agua fría para mejorar el rendimiento y el estado fisiológico, especialmente durante las fases de entrenamiento en las que se realizan sesiones más intensas y al comienzo de la temporada.

**Tabla 1.** Representa el resumen de los trabajos expuestos anteriormente.

<i><b>Autor y año</b></i>	<i><b>Tipo de estudio</b></i>	<i><b>Población</b></i>	<i><b>Protocolo de ejercicio</b></i>	<i><b>Protocolo de intervención</b></i>	<i><b>Evaluaciones y resultados</b></i>
<b>1- Jackson F Fyfe y cols 2019.</b>	Estudio controlado aleatorio.	<b>N= 16</b> hombres (22,9 ± 4,6 años; 85,1 ± 17,9 kg; media ± DE) <b>Grupo CWI: N= 8</b> hombres <b>Grupo CON: N=8</b> hombres.	Entrenamiento de resistencia (3 días/semana) durante 7 semanas. Se trabajaba tanto miembros superiores como inferiores. La intensidad del entrenamiento se fijó en 12 RM para todos los ejercicios, excepto en los ejercicios de flexiones de tríceps y abdominales que se fijaron en 20 RM. Una vez que el participante podía realizar todas las series de un ejercicio concreto con el número de repeticiones objetivo con la carga prescrita, la carga en ese ejercicio, era aumentada un 5% para la siguiente sesión.	<b>CWI:</b> Los pacientes se sentaron en una bañera inflable con las piernas extendidas, sumergidos hasta el esternón en agua fría a 10 °C durante 15 minutos. <b>CON:</b> Los paciente se encontraban sentados en una silla de una habitación mantenida a 23°C durante 15 minutos.	Se evaluó el rendimiento del ejercicio de prensa para piernas y press de banca en 1 sola RM, salto con contramovimiento, salto en cuclillas y flexión balística. Además se evaluó la composición corporal y las respuestas moleculares tras el ejercicio, antes y después del entrenamiento. La CWI redujo la hipertrofia de las fibras musculares , pero no la fuerza máxima.

<p><b>2- Lilion A Roberts, Truls Raastad y cols 2015.</b></p>	<p><b>Primer estudio:</b> Controlado aleatorio.</p> <p><b>Segundo estudio:</b> Aleatorio y cruzado.</p>	<p><b>Primer estudio: N=21</b> hombres activos <b>Grupo ACT: N=10</b> (edad 21,3 ± 1,9; altura 1,83 ± 0,1; masa corporal (kg) 79,2 ± 4,4) <b>Grupo CWI: N=11</b> (edad 21,2 ± 2,2; altura 1,81 ± 0,1; masa corporal 81,3 ± 11,6)</p> <p><b>Segundo estudio: N=9</b> hombres jóvenes físicamente activos. No detalla cuántas personas son partícipes de cada grupo (grupo CWI y grupo ACT).</p>	<p><b>Primer estudio:</b> El entrenamiento de fuerza involucró principalmente el tren inferior. Las sesiones de entrenamiento se realizaron dos veces por semana, separadas por 72 h. Las cargas se establecieron en 8, 10 y 12 repeticiones máximas (RM), y pesos correspondientes a una proporción de la masa corporal de cada participante. El entrenamiento de fuerza fue progresivo e incluyó prensa de piernas de 45 grados, extensión de rodillas, flexión de rodillas, estocadas caminando y ejercicios pliométricos. El componente pliométrico comprendió saltos con caída con contramovimiento, saltos en sentadilla excéntricos lentos, saltos con estocada dividida y saltos al cajón con contramovimiento.</p>	<p><b>CWI:</b> La inmersión en agua fría se realizó dentro de los 5 minutos posteriores a cada sesión de entrenamiento. Los participantes del grupo de inmersión en agua fría se sentaron en una bañera inflable (iCool iBody, iCool, Miami, Australia) durante 10 minutos con ambas piernas sumergidas en agua hasta la cintura. El agua circuló de forma continua y se mantuvo a 10,1 ± 0,3 °C utilizando una unidad de enfriamiento circulatorio.</p> <p><b>ACT:</b> Los participantes del grupo de recuperación activa realizaron 10 minutos de recuperación activa a una intensidad baja autoseleccionada en un cicloergómetro estacionario. La potencia de salida media durante la recuperación activa fue de</p>	<p><b>Primer estudio:</b> Se evaluó:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Función muscular.</li> <li>- Masa muscular (mediante resonancia magnética)</li> <li>- Colección de tejido muscular (mediante biopsias musculares)</li> </ul> <p>La <b>masa muscular</b> aumentó significativamente después del entrenamiento tanto en el grupo de recuperación activa (309 ± 73 g) como en el grupo de inmersión en agua fría (103 ± 71 g) ( <i>P</i> &lt; 0,001). Sin embargo, el cambio en la acumulación de masa muscular fue significativamente menor en el grupo de inmersión en agua fría en comparación con el grupo de recuperación activa (206 g; <i>d</i> = -4,1; <i>P</i> &lt; 0,001). La <b>fuerza máxima</b> (1 RM) fue significativamente mayor ( <i>P</i> &lt; 0,05) después del entrenamiento (en</p>
---	---	--	---	---	---

			<p><b>Segundo estudio:</b> Mismo protocolo de entrenamiento que el primer estudio.</p>	<p>59,5 ± 9,4 W.</p> <p><b>Segundo estudio:</b> Mismo protocolo de intervención que el primer estudio.</p>	<p>comparación con el preentrenamiento) para los grupos de recuperación activa e inmersión en agua fría durante la prensa de piernas (201 ± 65 kg para el grupo de recuperación activa <i>frente a</i> . 133 ± 43 kg para el grupo de inmersión en agua fría) y la extensión de rodilla (33,8 ± 8,5 kg para el grupo de recuperación activa <i>frente a</i> . 17,8 ± 9,2 kg para el grupo de inmersión en agua fría).</p> <p><b>Segundo estudio:</b> Se recogieron biopsias musculares antes y 2, 24 y 48 h después del ejercicio. El número de células satélite que expresan la molécula de adhesión celular neural (NCAM) (10–30%) y la proteína paired box (Pax7) (20–50%) aumentó 24–48 h después del ejercicio con ACT. El número de células satélite NCAM + aumentó 48 h</p>
--	--	--	--	--	--

					<p>después del ejercicio con CWI. El número de células satélite NCAM + - y Pax7 + -positivas fue mayor después de ACT que después de CWI (<math>P &lt; 0,05</math>). La fosforilación de la quinasa p70S6 Thr421/Ser424 aumentó después del ejercicio en ambas condiciones, pero fue mayor después de ACT (<math>P &lt; 0,05</math>). Estos datos sugieren que la CWI atenúa los cambios agudos en el número de células satélite y la actividad de las quininas que regulan la hipertrofia muscular, lo que puede traducirse en menores ganancias a largo plazo en la fuerza muscular y la hipertrofia.</p>
<p><b>3- Angelina Freitas Siqueira y cols 2018.</b></p>	<p>Estudio controlado aleatorizado.</p>	<p><b>N=29</b> hombres físicamente activos  <b>Grupo Control (CON):</b>  <b>N=15</b> edad <math>19,9 \pm 1,4</math>; masa corporal en kg <math>71,3 \pm 9,4</math>; altura en cm <math>175,7 \pm 7,2</math>;</p>	<p><b><u>Protocolo para inducir al daño muscular mediante el ejercicio:</u></b> 5 series de 20 saltos desde una caja de 60 cm con dos minutos de descanso entre series.</p>	<p><b>CWI:</b> Este grupo realizó una inmersión (<math>10\text{ }^{\circ}\text{C}</math> durante 20 min) y cada 24 h durante las siguientes 72 h.</p>	<p>La fuerza muscular, la altura del salto vertical, el grosor muscular, el dolor muscular de aparición tardía (DOMS), la creatina quinasa sistémica (CK), la proteína C reactiva</p>

		<p>IMC(kg/m<sup>2</sup>) 23,0 ± 2,0; pliegue cutáneo del muslo (mm) 14,3 ± 5,8; par máximo (N·m) 333,5 ± 52,0; Altura del CMJ (cm) 46,6 ± 5,1.</p> <p><b>Grupo CWI: N=14</b> edad 20,5 ± 1,4; masa corporal en kg 71,3 ± 9,1; altura en cm 176,3 ± 5,0 ; IMC(kg/m<sup>2</sup>) 22,4 ± 2,8; pliegue cutáneo del muslo (mm) 13,6 ± 4,3; par máximo (N·m) 327,9 ± 47,1; Altura del CMJ (cm) 49,6 ± 8,1.</p>	<p>Después de dejarse caer desde la caja y aterrizar en el suelo, instruyeron a los participantes para que realizaran un salto vertical explosivo máximo y luego aterrizaran en el suelo. Se les indicó que flexionaran las rodillas al menos 90° (0° = extensión completa) durante todos los aterrizajes y que mantuvieran las manos en las caderas durante los saltos. Sumado a lo dicho con anterioridad, los participantes fueron animados verbalmente a realizar el máximo esfuerzo durante cada repetición de salto.</p>	<p><b>CON:</b> El grupo de control permaneció en posición sentada durante estos períodos correspondientes.</p>	<p>(CRP), las citoquinas inflamatorias y la actividad de la metaloproteínasa de matriz-2 (MMP-2) se evaluaron antes, después, 24, 48, 72, 96 y 168 h después de EIMD. El resultado fue que múltiples CWI atenuaron el daño muscular, pero no alteraron la inflamación sistémica ni la recuperación de la función muscular.</p>
<p><b>4- Lilion A Roberts, Makii Muthalib y cols 2015.</b></p>	<p>Estudio experimental.</p>	<p><b>N=10</b> hombres físicamente activos (media ± DE; edad: 21,4 ± 2,0 años; altura: 1,8 ± 0,1 m, masa corporal: 83,7 ± 14,8 kg)</p>	<p><b>Ejercicios de resistencia unilateral:</b> Los ejercicios de resistencia unilateral se realizaron con la pierna dominante, donde especialmente se buscó estimular el músculo cuádriceps mediante 10</p>	<p><b>ACT:</b> Para la terapia de recuperación activa, se pidió a los participantes que hicieran ejercicio en un cicloergómetro durante 10 minutos a una intensidad baja seleccionada por ellos mismos, adoptando un</p>	<p>Se evaluó el gasto cardíaco, la oxigenación muscular, el volumen sanguíneo, la temperatura muscular y la fuerza isométrica tras el ejercicio de resistencia. La <b>fuerza isométrica</b> de extensión de rodilla se midió</p>

			<p>series de 20 extensiones isocinéticas máximas de rodilla en un rango de 0° a 90° a una velocidad de 90°/s. Los participantes descansaron 2 minutos entre series. El ritmo de repetición se fijó en 0,5 Hz mediante una señal acústica, y la velocidad de flexión de la rodilla se fijó en 250 °/s para permitir la flexión pasiva tras cada extensión de rodilla.</p>	<p>ángulo de cadera de 90° .  <b>CWI:</b> Los participantes adoptaron una posición sentada con un ángulo de cadera de 90°, con las piernas estiradas y totalmente relajadas. Se sumergió a los participantes hasta el nivel del ombligo de forma continua durante 10 minutos en una bañera inflable con agua a 10,0 ±0,2°C.</p>	<p>con un ángulo articular de flexión de rodilla de 70° (extensión completa de rodilla =0°). Para cada contracción, se indicó a los participantes que extendieran la rodilla con la mayor fuerza posible a 70° y continuaran empujando contra el punto de parada durante el tiempo requerido. Los participantes realizaron 2 contracciones de calentamiento, cada una de las cuales duró 5 s y estuvo separada por 90 s. Este procedimiento se repitió antes del ejercicio y a los 5, 20 y 40 minutos del período de recuperación.</p> <p>El <b>gasto cardíaco y el volumen sistólico</b> se midió continuamente mediante cardiografía de impedancia. La <b>oxigenación muscular</b> se evaluó mediante un sistema NIRS portátil.</p> <p>La <b>temperatura muscular</b> se midió con una sonda</p>
--	--	--	--	---	--

					<p>implantable de alambre fino. Se registró a una frecuencia de 1 Hz con un registrador de datos portátil y se transfirió a un ordenador portátil para su análisis.</p> <p>El resultado final dice que la inversión en agua fría redujo la oxigenación muscular y la temperatura tisular y ayudó a mantener la fuerza muscular tras el ejercicio de resistencia. Además redujo el gasto cardíaco y el volumen sanguíneo.</p> <p>Por el contrario, la recuperación activa, mantuvo la oxigenación muscular y la temperatura tisular y redujo la fuerza muscular. También mantuvo elevados el gasto cardíaco y el volumen sanguíneo.</p>
<p><b>5- Lilion A Roberts, Kazunori</b></p>	<p>Estudio aleatorizado y cruzado.</p>	<p><b>N=10</b> hombres jóvenes físicamente activos (media <math>\pm</math> DE, edad: 21,3 <math>\pm</math> 1,6 años;</p>	<p><b><u>Sesión de entrenamiento:</u></b> Este entrenamiento de resistencia de alta intensidad</p>	<p><b><u>CWI:</u></b> Los participantes se sentaron en una bañera inflable que contenía agua</p>	<p>En el siguiente estudio se evaluó la recuperación de la función muscular y las</p>

<p><b>Nosaka y cols 2014.</b></p>		<p>altura: <math>1,81 \pm 1,6</math> m y masa corporal: <math>84,7 \pm 12,4</math> kg).</p>	<p>duraba 1 hora y consistía de lo siguiente: 6 series de sentadillas frontales y dorsales con cargas correspondientes a 8, 8, 10, 12, 10 y 10 RM; 3 series de 12 estocadas con mancuernas caminando con una masa total correspondiente al 40% de la masa corporal; y 3 series de 12 saltos en contramovimiento desde una altura de 50 cm. El tiempo de recuperación entre series fue de 90 s, con 120 s entre ejercicios. Se proporcionó un fuerte estímulo verbal cuando fue necesario para mantener el ritmo de repetición, la forma y los períodos de recuperación.</p>	<p>a <math>10 \pm 0,3^{\circ}\text{C}</math> y se sumergían hasta la altura de la clavícula durante un período de 10 minutos.  <b>ACT:</b> Los participantes se ejercitaron en un ergómetro para bicicletas a una intensidad baja seleccionada por ellos mismos</p>	<p>respuestas fisiológicas después del ejercicio de resistencia de alta intensidad.  <b>Pruebas de función muscular máxima:</b> Evaluaron a los participantes mediante 4 pruebas de función muscular máxima, incluyendo un salto en contramovimiento, un salto en cuclillas sin peso, uno con peso y una sentadilla isométrica. Estas pruebas fueron realizadas en orden aleatorio 2 y 4 horas luego de las intervenciones de recuperación.  <b>Prueba de función muscular submáxima:</b> Se evaluó 6 horas después de las intervenciones de recuperación y lo hicieron midiendo la carga media y total que los participantes levantaron durante 6 series de 10 sentadillas al 80% de un RM.  <b>Medición de la temperatura muscular:</b> Se midió antes y después del entrenamiento, de</p>
-----------------------------------	--	---	---	---	--

					<p>forma continua durante las intervenciones de recuperación y durante las 2 h siguientes. La misma la midieron introduciendo una cánula de calibre 18 en el músculo vasto lateral a una profundidad de 1 cm.</p> <p><b><u>Extracción de sangre y análisis:</u></b> Las muestras fueron recogidas antes y después del ejercicio de resistencia inicial y 15min , 30min , 45min, 1h, 1,5h , 2h, 4h y 6h después de la intervención de recuperación.</p> <p><b><u>Percepción del dolor muscular:</u></b> se midió con la escala analógica visual. Evaluación del volumen de las extremidades: Se calculó el volumen segmentario de la extremidad superior e inferior del muslo de la pierna derecha a partir de 3 circunferencias: por encima de la rodilla, a mitad del muslo y en el pliegue subglúteo. Se midió con cinta</p>
--	--	--	--	--	--

					<p>antropométrica.</p> <p>Los resultados arrojaron como conclusión que la CWI después del ejercicio de resistencia permite a los atletas a completar más trabajo durante las sesiones de entrenamiento posteriores, lo que podría mejorar las adaptaciones al entrenamiento a largo plazo.</p>
<p><b>6- Lílían Beatriz Fonseca y cols 2016.</b></p>	<p>Estudio cruzado.</p>	<p><b>N= 8</b> atletas masculinos (edad = <math>24,0 \pm 3,6</math> años, masa = <math>78,4 \pm 2,4</math> kg, porcentaje de grasa corporal = <math>13,1\% \pm 3,6\%</math>).</p> <p><b>CWI: N=4</b></p> <p><b>CON:N=4</b></p>	<p>Se realizaron 2 sesiones de entrenamiento separados por intervalos de 1 semana.</p> <p>El protocolo de entrenamiento representó una sesión típica, caracterizada por un esfuerzo progresivo y exhaustivo. Cada sesión de entrenamiento comprendió la siguiente estructura: 40 minutos cada uno de ejercicios generalizados (calistenia), entrenamiento técnico y simulación de combate. El entrenamiento</p>	<p><b>CWI:</b> Baño de hielo hasta el cuello (<math>6,0 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}</math>) durante 16 minutos: 4 ciclos de inmersión de 4 minutos con un intervalo de 1 minuto entre ciclos, totalizando una intervención de 19 minutos.</p> <p><b>CON:</b> Recuperación pasiva.</p>	<p>Todas las variables estudiadas fueron medidas antes del entrenamiento, después de la recuperación y 24 y 48 horas después de la recuperación.</p> <p><u>Marcadores de daño muscular:</u></p> <p>Las mediciones bioquímicas se realizaron en un analizador automático (modelo Vitros 5600; Ortho Clinical Diagnostics, Raritan, NJ).</p> <p><u>Medición de la potencia de las extremidades superiores:</u></p> <p>Todos los atletas realizaron una prueba de potencia muscular utilizando una barra</p>

			<p>técnico se centró en movimientos específicos de jiu-jitsu: pases de guardia, barridos, llaves de brazo, proyecciones y sumisiones. Las simulaciones de combate consistieron en combates con duraciones variadas: tres combates de 2 minutos, dos combates de 5 minutos, dos combates de 7 minutos y un combate de 10 minutos.</p>		<p>colocada en posición supina y un codificador conectado a sus cinturones (modelo PFMA 3010e Muscle Lab System; Ergotest, Langesund, Noruega). Se realizaron tres repeticiones y se seleccionó el mejor resultado para el análisis.</p> <p><u>Medición de la potencia de miembros inferiores:</u> utilizando el salto con contramovimiento (CMJ) en una colchoneta de salto (Globus, Roma, Italia) de acuerdo con los métodos descritos por Bosco et al. Hicieron 2 intentos y el mejor resultado se utilizó para el análisis.</p> <p><u>Mediciones subjetivas:</u> Los atletas indicaron el dolor muscular percibido en una escala analógica visual. Recuperación percibida subjetiva: Lo evaluaron utilizando los métodos</p>
--	--	--	--	--	--

					<p>descritos por Laurent (escala del estado de recuperación percibida).</p> <p>La calificación del esfuerzo percibido (RPE) lo midieron utilizaron una escala de Borg modificada.</p> <p><u>Temperatura corporal:</u> Utilizaron un termómetro digital (G-Tech, Shenzhen, Guangdong, China)</p> <p>Como conclusión final, la inmersión en agua fría puede ser beneficiosa para los atletas de jiu-jitsu porque disminuye los marcadores de daño muscular, reduce la percepción de dolor, y además ayuda a la recuperación de las extremidades superiores e inferiores.</p>
--	--	--	--	--	--

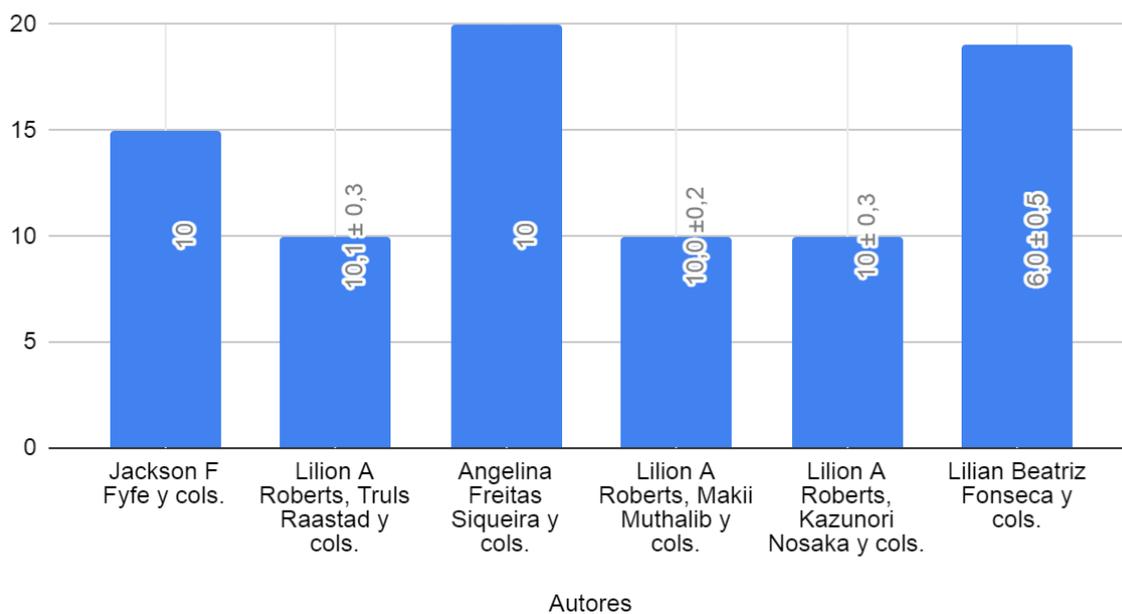
**GLOSARIO:** **CWI:** Inmersión en agua fría. **CON:** Grupo Control. **ACT:** Recuperación activa.

## VI.D.Análisis de resultado.

**Tabla 2.** Representa los efectos que generan los baños de inmersión en agua fría (CWI) en las variables propuestas.

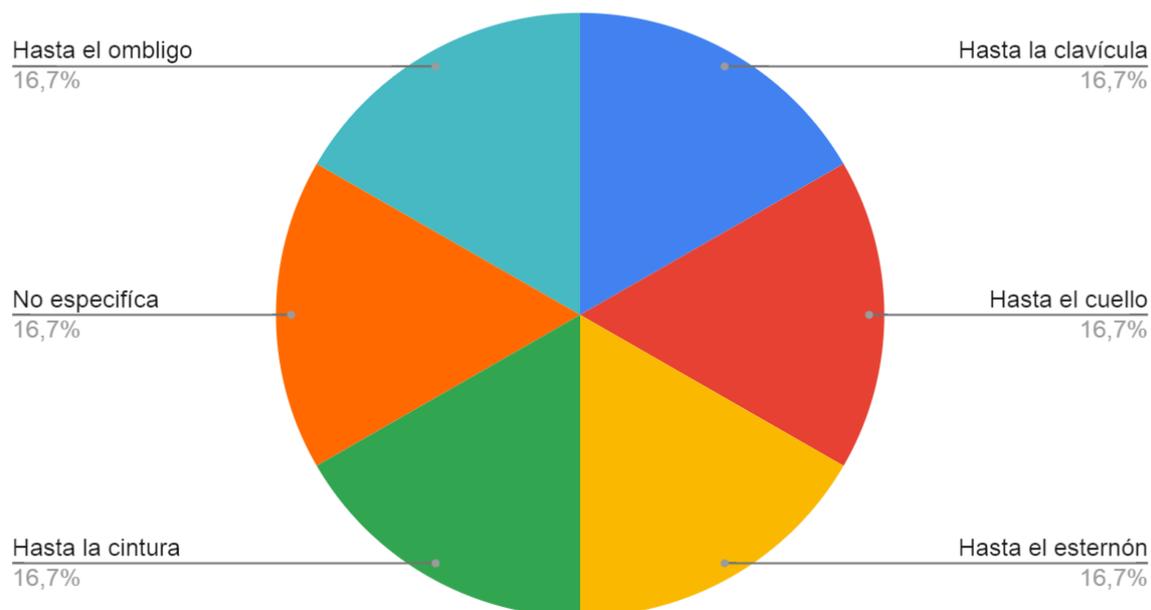
<b>Estudio</b>	<b>Dolor</b>	<b>Fuerza</b>	<b>Sensación subjetiva de esfuerzo</b>
<b>Jackson F Fyfe y cols 2019.</b>	-	No hubo cambios significativos	-
<b>Lilion A Roberts, Truls Raastad y cols 2015.</b>	-	Puede disminuir los valores de fuerza a largo plazo.	-
<b>Angelina Freitas Siqueira y cols 2018.</b>	Los niveles de dolor disminuyeron a las 168 horas.	No hubo cambios significativos	-
<b>Lilion A Roberts, Makii Muthalib y cols 2015.</b>	-	Ayudó a mantener los niveles de fuerza post ejercicio.	-
<b>Lilion A Roberts, Kazunori Nosaka y cols 2014.</b>	El dolor fue significativamente menor.	No hubo cambios significativos.	-
<b>Lílian Beatriz Fonseca y cols 2016.</b>	Los niveles de dolor se redujeron tras el entrenamiento de jiu-jitsu.	Ayuda en la recuperación de la potencia 24hs después de una sesión de entrenamiento.	No hubo cambios significativos.

## Temperatura del agua (°C) y Tiempo (minutos)

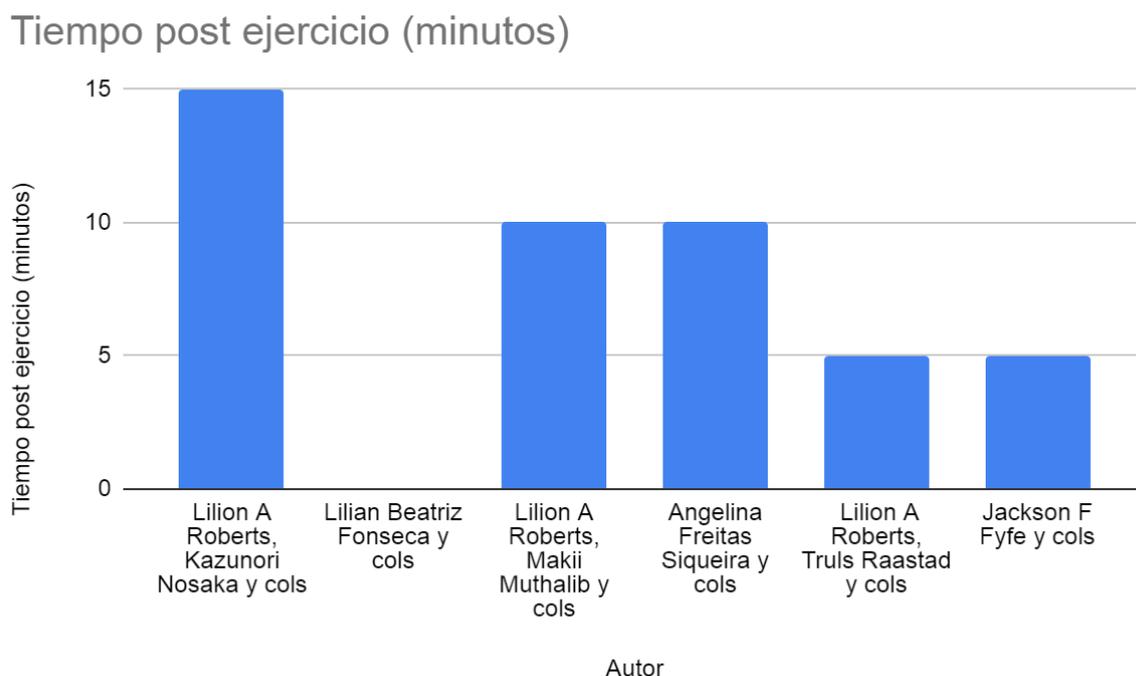


**Gráfico 1:** En el siguiente gráfico se indica la dosificación de las terapias según los autores. En el costado izquierdo vemos representado el tiempo total de la intervención en minutos, mientras que en las barras azules vemos representado la temperatura del agua en °C.

## Estudios analizados



**Gráfico 2:** En el siguiente gráfico se indica hasta qué altura del cuerpo fueron sumergidos los participantes durante la terapia de CWI según los estudios analizados con anterioridad.



**Gráfico 3:** Tiempo de aplicación de la terapia CWI post entrenamiento físico.

## **VII. Discusión.**

Acercar la recuperación deportiva es uno de los grandes desafíos que se presentan hoy en día en el ámbito deportivo, tanto a nivel profesional, como a nivel amateur. Estos últimos años, los baños de inmersión con crioterapia, pasaron a ser de público conocimiento dentro la población, sin saber los efectos que producen, ni las dosificaciones para utilizar esta terapia. Es por eso que, el objetivo de esta revisión bibliográfica fue analizar los efectos de la CWI con respecto a la modulación del dolor, la sensación subjetiva de esfuerzo y la fuerza post actividad deportiva.

En todos los estudios analizados durante este trabajo, las intervenciones se llevaban a cabo en poblaciones sanas, en hombres físicamente activos o atletas, exceptuando en el estudio de *Jackson F Fyfe y cols*, en el cual los participantes eran hombres que realizaban actividades recreativas, pero que no habían tenido un entrenamiento de resistencia regular durante al menos 6 meses. Este último dato mencionado, puede tener relevancia a la hora del análisis.

Uno de los puntos a remarcar sobre esta revisión bibliográfica, es la pequeña muestra de los artículos analizados, con la suma de 6 artículos la muestra es de 94 individuos. Si bien el sexo no fue un motivo de análisis, cabe destacar que el 100% de los individuos que fueron objeto de estudio, son hombres.

Teniendo en cuenta el daño muscular inducido por el ejercicio, el cual es una variedad de signos y síntomas que se dan producto del ejercicio intenso, los protocolos de entrenamiento en los artículos analizados fueron muy variables, algunos haciendo enfoque en la resistencia y otros haciendo enfoque en la fuerza, aunque todos lograron inducir al EIMD. Otra cosa a tener en cuenta, fue que la mayoría de los estudios, exceptuando los estudios de *Jackson F Fyfe y cols* y de *Lilian Beatriz Fonseca y cols*, hicieron énfasis en un entrenamiento de los miembros inferiores, desestimando los miembros superiores. Por lo tanto, la magnitud del EIMD provocado, fue diferente y afectó distintos grupos musculares.

Haciendo hincapié en el tratamiento utilizado para acelerar la recuperación deportiva, en todos los estudios analizados, el tratamiento de inmersión en agua fría fue comparado con otro tipo de terapéutica, ya sea con una recuperación activa o una recuperación pasiva.

En cuanto a la terapia de inmersión en agua fría, podemos decir que las dosificaciones fueron muy variadas con respecto al tiempo de aplicación, pero no fue así con la temperatura del agua, ya que, exceptuando el estudio de *Lilian Beatriz Fonseca y cols* en el que el agua se encontraba a 6°C, la temperatura del agua elegida por el resto de los estudios analizados, fue de aproximadamente 10°C. También se puede decir que el tiempo de aplicación de la CWI post ejercicio varía según el estudio, siendo este entre 15, 10 y 5 minutos exceptuando a *Lilian Beariz Fonseca y cols* que no especificó cuánto tiempo después del ejercicio aplicó la terapia.

Según *Jackson F Fyfe y cols* (30) la terapia CWI reduce los niveles de hipertrofia pero no la fuerza, aunque el siguiente estudio se realizó en personas no entrenadas, lo cual puede ser un factor determinante en comparación con personas que sí están entrenadas.

*Lilion A Roberts, Truls Raastad y cols* (31) indicaron que la inmersión en agua fría retrasó o inhibió la actividad de las células satélite y suprimió la activación de p70S6K después del ejercicio de fuerza agudo, por ende estos efectos pueden haberse acumulado con el tiempo y disminuir los aumentos esperados en la masa muscular y la fuerza como resultado del entrenamiento. De esta manera, las personas que necesitan del entrenamiento de fuerza con el fin de obtener algún beneficio, deberían replantearse el uso de esta terapia.

*Angelina Freitas Siqueira y cols* (32) indicó que en el estudio que realizó, careció de mediciones adicionales como lo pueden ser las biopsias musculares, las cuales aportarían datos relevantes a la causa. A pesar de esto, el resultado de su estudio fue

que múltiples CWI atenuaron el daño muscular, pero no alteraron la inflamación sistémica ni la recuperación de la función muscular.

*Lilion A Roberts, Makii Muthalib y cols (33)* mencionaron que no haber calentado lo suficiente antes de realizar los ejercicios señalados en el estudio, puede haber afectado la función muscular, sobre todo entre los 20 y los 40 minutos después del ejercicio. Sin embargo, el resultado final del estudio fue que la inversión en agua fría redujo la oxigenación muscular y la temperatura tisular y ayudó a mantener la fuerza muscular tras el ejercicio de resistencia. Además redujo el gasto cardíaco y el volumen sanguíneo.

*Lilion A Roberts, Kazunori Nosaka y cols (34)* no recogieron tejido muscular para examinar con mayor detalle los procesos por los cuales la inmersión en agua fría provoca mayores beneficios en cuanto a la recuperación del ejercicio. A pesar de esta limitante, la conclusión final de su estudio fue que la CWI después del ejercicio de resistencia permite a los atletas completar más trabajo durante las sesiones de entrenamiento posteriores, lo que podría mejorar las adaptaciones al entrenamiento a largo plazo.

*Lilian Beatriz Fonseca y cols (35)* dijo que un posible sesgo en su estudio fue la ausencia de medidas directas de la intensidad del ejercicio, ya que es una variable que es difícil de controlar en estudios que involucran atletas de deportes de combate como lo es el jiu-jitsu. Como conclusión final, la inmersión en agua fría puede ser beneficiosa para los atletas de jiu-jitsu porque disminuye los marcadores de daño muscular, reduce la percepción de dolor, y además ayuda a la recuperación de las extremidades superiores e inferiores.

### **VIII. Conclusión.**

Luego de realizar el análisis correspondiente de la bibliografía disponible podemos concluir que, la terapia de baños de inmersión con crioterapia, es una opción de tratamiento efectiva con respecto a la disminución del dolor si se aplica luego de realizar actividad deportiva.

También se puede decir que, la misma terapia, no genera cambios ni beneficios significativos con respecto a la fuerza muscular, aunque sí perjudica la hipertrofia, lo cual suena contradictorio, ya que muchas veces la fuerza se encuentra relacionada con la ganancia de masa muscular.

Con respecto a la sensación subjetiva de esfuerzo, solamente un estudio la mencionó como variable a la terapia CWI post ejercicio, indicando que la misma no sufría cambios significativos.

En cuanto a las respuestas de los tejidos ante las bajas temperaturas, podemos decir que se produce un descenso de la temperatura muscular, sumado a un descenso del gasto cardíaco y del volumen sanguíneo.

Además se puede decir que, la temperatura recomendada para obtener los beneficios mencionados con anterioridad debe rondar entre los 6 y 10°C con un tiempo de aplicación de entre 10 a 20 minutos.

Como conclusión final, podemos destacar la carencia de los artículos rescatados, siendo también el número de artículos analizados. Por esta razón, sugiero que es pertinente continuar investigando acerca del tema, con mejor calidad metodológica, y que incluyan otras variables dentro del estudio, sobre todo cuestiones relacionadas a los efectos negativos de esta terapia, ya que se hace mucho hincapié en los beneficios y no tanto en los aspectos negativos de la misma.

#### **IX. Referencias bibliográficas.**

1. Chaillou T, Treigyte V, Mosely S, Brazaitis M, Venckunas T, Cheng AJ. Functional Impact of Post-exercise Cooling and Heating on Recovery and Training Adaptations: Application to Resistance, Endurance, and Sprint Exercise. *Sports Medicine - Open* [Internet]. 2022 Dec [cited 2024 Aug 1];8. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8901468/>
2. Wilke J, Behringer M. Is “Delayed Onset Muscle Soreness” a False Friend? The Potential Implication of the Fascial Connective Tissue in Post-Exercise Discomfort. *Int J Mol Sci* [Internet]. 2021 Sep [cited 2024 Aug 6];22(17). Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8431437/>
3. King M, Duffield R. The effects of recovery interventions on consecutive days of intermittent sprint exercise. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2009 Sep [cited 2024 Aug 6];23(6). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19675481/>
4. Kwiecien SY, McHugh MP. The cold truth: the role of cryotherapy in the treatment of injury and recovery from exercise. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 2021 Aug [cited 2024 Aug 6];121(8). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33877402/>

5. Yeung SS, Ting KH, Hon M, Fung NY, Choi MM, Cheng JC, et al. Effects of Cold Water Immersion on Muscle Oxygenation During Repeated Bouts of Fatiguing Exercise: A Randomized Controlled Study. *Medicine* [Internet]. 2016 Jan [cited 2024 Aug 6];95(1). Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4706272/>
6. Peake JM, Roberts LA, Figueiredo VC, Egner I, Krog S, Aas SN, et al. The effects of cold water immersion and active recovery on inflammation and cell stress responses in human skeletal muscle after resistance exercise. *J Physiol*. 2017 Feb 2;595(3):695.
7. Weineck J. *ANATOMÍA DEPORTIVA*, LA (Bicolor). Editorial Paidotribo; 2007. 332 p.
8. Ross MH, Pawlina W. *Histología: texto y atlas color con biología celular y molecular*. Ed. Médica Panamericana; 2007. 998 p.
9. Hall JE. *Guyton & Hall. Tratado de fisiología médica*. Elsevier Health Sciences; 2021. 1155 p.
10. Larry Kenney W, Wilmore JH, Costill DL. *Fisiología del Deporte y el Ejercicio/Physiology of Sport and Exercise*. Human Kinetics; 2014. 640 p.
11. Bryan Contreras A, Alexander Fernandez Ñ. Revisión sistemática de ensayos clínicos sobre el efecto de la inmersión en agua fría en el tratamiento de la fatiga muscular post ejercicio [Internet]. 2017. Disponible en: <https://repositorio.uwiener.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13053/1216/TITULO%20-%20Fernandez%20%20c3%91a%20c3%b1a%20Alexander%20David.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
12. Carroll TJ, Taylor JL, Gandevia SC. Recovery of central and peripheral neuromuscular fatigue after exercise. *J Appl Physiol* [Internet]. 2017 May 1 [cited 2024 Jul 25];122(5). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27932676/>
13. Girard O, Mendez-Villanueva A, Bishop D. Repeated-sprint ability - part I: factors contributing to fatigue. *Sports Med* [Internet]. 2011 Aug 1 [cited 2024 Aug 6];41(8). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21780851/>
14. Forbes-Robertson S, Dudley E, Vadgama P, Cook C, Drawer S, Kilduff L. Circadian disruption and remedial interventions: effects and interventions for jet lag for athletic peak performance. *Sports Med* [Internet]. 2012 Mar 1 [cited 2024 Aug

- 6];42(3). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22299812/>
15. Tee JC, Bosch AN, Lambert MI. Metabolic consequences of exercise-induced muscle damage. *Sports Med* [Internet]. 2007 [cited 2024 Aug 6];37(10). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17887809/>
  16. Saugy J, Place N, Millet GY, Degache F, Schena F, Millet GP. Alterations of Neuromuscular Function after the World's Most Challenging Mountain Ultra-Marathon. *PLoS One* [Internet]. 2013 Jun 26 [cited 2024 Aug 6];8(6). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23840345/>
  17. Finsterer J. Biomarkers of peripheral muscle fatigue during exercise. *BMC Musculoskelet Disord* [Internet]. 2012 Nov 8 [cited 2024 Aug 6];13. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23136874/>
  18. Website [Internet]. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/325011712\\_El\\_Dano\\_Muscular\\_Inducido\\_por\\_el\\_Ejercicio\\_y\\_las\\_Agujetas\\_Mecanismos\\_de\\_produccion\\_manifestaciones\\_y\\_relacion\\_con\\_la\\_fatiga\\_y\\_la\\_genetica](https://www.researchgate.net/publication/325011712_El_Dano_Muscular_Inducido_por_el_Ejercicio_y_las_Agujetas_Mecanismos_de_produccion_manifestaciones_y_relacion_con_la_fatiga_y_la_genetica)
  19. Hotfiel T, Freiwald J, Hoppe MW, Lutter C, Forst R, Grim C, et al. Advances in Delayed-Onset Muscle Soreness (DOMS): Part I: Pathogenesis and Diagnostics. *Sportverletz Sportschaden*. 2018 Dec;32(04):243–50.
  20. Pedro Luis Valenzuela Tallón. Daño muscular inducido mediante ejercicio y sus efectos en el rendimiento [Internet]. 2014. Disponible en: [https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/21262/TFG\\_Valenzuela\\_Tall%C3%B3n\\_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/21262/TFG_Valenzuela_Tall%C3%B3n_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
  21. White GE, Wells GD. Cold-water immersion and other forms of cryotherapy: physiological changes potentially affecting recovery from high-intensity exercise. *Extreme physiology & medicine* [Internet]. 2013 Sep 1 [cited 2024 Aug 7];2(1). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24004719/>
  22. Google Books [Internet]. [cited 2024 Oct 3]. Fisiología del deportista: bases científicas de la preparación fatiga y . Available from: [https://books.google.com/books/about/Fisiologia\\_del\\_deportista\\_bases\\_cient%C3%ADf.html?hl=es&id=1zcl6RwJTvcC](https://books.google.com/books/about/Fisiologia_del_deportista_bases_cient%C3%ADf.html?hl=es&id=1zcl6RwJTvcC)
  23. Vista de Uso de la crioterapia en la fatiga muscular post esfuerzo en individuos

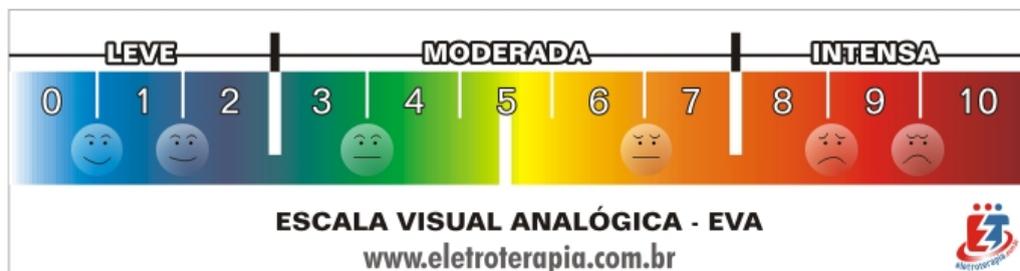
- que realizan práctica deportiva: revisión sistemática [Internet]. [cited 2024 Aug 7]. Available from: <https://revistasdigitales.uniboyaca.edu.co/index.php/rs/article/view/416/497>
24. Fonda B, Sarabon N. Effects of whole-body cryotherapy on recovery after hamstring damaging exercise: a crossover study. *Scand J Med Sci Sports* [Internet]. 2013 Oct [cited 2024 Aug 7];23(5). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23614691/>
  25. Vista de Uso de la crioterapia en la fatiga muscular post esfuerzo en individuos que realizan práctica deportiva: revisión sistemática [Internet]. [cited 2024 Aug 7]. Available from: <https://revistasdigitales.uniboyaca.edu.co/index.php/rs/article/view/416/497>
  26. MacIntyre DL, Reid WD, McKenzie DC. Delayed muscle soreness. The inflammatory response to muscle injury and its clinical implications. *Sports Med* [Internet]. 1995 Jul [cited 2024 Aug 7];20(1). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7481277/>
  27. Banfi G, Melegati G. Effect on sport hemolysis of cold water leg immersion in athletes after training sessions. *Lab Hematol* [Internet]. 2008 [cited 2024 Aug 7];14(2). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18599431/>
  28. [No title] [Internet]. [cited 2024 Aug 7]. Available from: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/35071/TFG-O-1532.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
  29. Aguilera RA, Ibacache A. Comparación entre inmersión en agua fría y terapia pasiva para disminuir el dolor muscular de inicio tardío: CAT. *Medwave* [Internet]. 2014 Jun 12 [cited 2024 Jul 25];14(05). Available from: <http://dx.doi.org/10.5867/medwave.2014.05.5967>
  30. Fyfe JJ, Broatch JR, Trewin AJ, Hanson ED, Argus CK, Garnham AP, et al. Cold water immersion attenuates anabolic signaling and skeletal muscle fiber hypertrophy, but not strength gain, following whole-body resistance training. *J Appl Physiol* [Internet]. 2019 Nov 1 [cited 2024 Aug 12];127(5). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31513450/>
  31. Roberts LA, Raastad T, Markworth JF, Figueiredo VC, Egner IM, Shield A, et al. Post-exercise cold water immersion attenuates acute anabolic signalling and

long-term adaptations in muscle to strength training. J Physiol. 2015 Sep 9;593(Pt 18):4285.

32. Siqueira AF, Vieira A, Bottaro M, Ferreira-Júnior JB, de Toledo Nóbrega O, de Souza VC, et al. Multiple Cold-Water Immersions Attenuate Muscle Damage but not Alter Systemic Inflammation and Muscle Function Recovery: A Parallel Randomized Controlled Trial. Sci Rep [Internet]. 2018 [cited 2024 Aug 12];8. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6053395/>
33. Roberts LA, Muthalib M, Stanley J, Lichtwark G, Nosaka K, Coombes JS, et al. Effects of cold water immersion and active recovery on hemodynamics and recovery of muscle strength following resistance exercise. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol [Internet]. 2015 Aug 15 [cited 2024 Aug 12];309(4). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26062633/>
34. Roberts LA, Nosaka K, Coombes JS, Peake JM. Cold water immersion enhances recovery of submaximal muscle function after resistance exercise. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol [Internet]. 2014 Oct 15 [cited 2024 Aug 12];307(8). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25121612/>
35. Fonseca LB, Brito CJ, Silva RJ, Silva-Grigoletto ME, da Silva WM, Franchini E. Use of Cold-Water Immersion to Reduce Muscle Damage and Delayed-Onset Muscle Soreness and Preserve Muscle Power in Jiu-Jitsu Athletes. J Athl Train [Internet]. 2016 Jul [cited 2024 Aug 12];51(7). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27575565/>

## **X. Anexos.**

### **X.A.Escala analógica visual.**



X.B. Escala del estado de recuperación percibida

**Perceived Recovery Status Scale**

10	Very well recovered / Highly energetic	}	<u>Expect Improved Performance</u>
9			
8	Well recovered / Somewhat energetic		
7		}	<u>Expect Similar Performance</u>
6	Moderately recovered		
5	Adequately recovered		
4	Somewhat recovered		
3		}	<u>Expect Declined Performance</u>
2	Not well recovered / Somewhat tired		
1			
0	Very poorly recovered / Extremely tired		

X.C. Escala de Borg modificada.

