

MARTÍNEZ AGUILAR VIOLETA
CHÁVEZ GONZÁLEZ TERESA
MONTSERRAT

DURACIÓN DEL EFECTO TÉRMICO DEL ULTRASONIDO CONTINUO A 3 MHZ APLICADO AL
MÚSCULO GASTROCNEMIO A TRAVÉS DE TERMOGRAFÍA

2021



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Enfermería

“Duración del efecto térmico del Ultrasonido Continuo a 3 MHz aplicado al músculo gastrocnemio a través de termografía”

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de

Licenciado en Fisioterapia

Presenta

Martínez Aguilar Violeta

Chávez González Teresa Montserrat

Dirigido por:

M. A. Arely Guadalupe Morales Hernández

Co-Director:

Dr. Irving A. Albarrán Cruz

Querétaro, Qro. a junio de 2021



Santiago de Querétaro 23 de junio de 2021.

Patrimonio de la Humanidad.

H. Comité de Titulación De la Facultad de Enfermería Universidad Autónoma de Querétaro

Por este conducto, nos permitimos aprobar el trabajo " Duración del efecto térmico del Ultrasonido Continuo a 3 MHz aplicado al músculo gastrocnemio a través de termografía" .Elaborado por las alumnas Martínez Aguilar Violeta y Chávez González Teresa Montserrat pasantes de la carrera de Fisioterapia, que reúnen los requisitos de un trabajo de Tesis Colectiva como modalidad de titulación. Sin más por el momento, se extiende el presente dictamen para los fines que el comité considere pertinente.

Atentamente

"Educo en la Verdad y en el Honor"

Table with 2 rows and 3 columns containing signatures and names of committee members: M. A. Arely Guadalupe Morales Hernández (Director de Tesis), Dr. Irving Armando Cruz Albarrán (Secretario), M. C.E Sandra Mariana Chávez Monjarás (Vocal), M.I.M. María Eustolia Pedroza Vargas (Suplente), and M. PT Lizbeth Rodríguez Márquez (Suplente).



Resumen

Introducción: El ultrasonido continuo (USC) es una onda sonora inaudible que al interactuar con el cuerpo provoca vibraciones generando efectos térmicos. Para que el USC alcance su efecto terapéutico, la temperatura debe incrementar 2 a 3°C mínimo; y mantenerse, al menos 5 minutos. **Objetivo:** Determinar la duración del efecto térmico del ultrasonido continuo a 3 MHz aplicado al músculo gastrocnemio a través de termografía. **Material y métodos:** 1) Ultrasonido terapéutico BTL-5000 SWT POWER; 2) Cámara termográfica FLIR A310; 3) Software de análisis; 4) Termómetro láser. **Método:** 30 voluntarios (edad 19-24 años), divididos en dos grupos equitativos. La aplicación se desarrolló en una sola sesión con dosificaciones diferentes de USC para cada grupo: 3 MHz, 1W/cm² por 5 minutos (D1); y, 3 MHz, 0.5W/cm² por 10 minutos (D2), sobre el músculo gastrocnemio izquierdo. El registro de la temperatura se llevó a cabo a través de 5 fotografías: antes y después de la aplicación; y, 5, 10 y 15 minutos posteriores. Analizando el comportamiento de la temperatura con un software de interpretación. La termografía es sencilla, rápida, segura, no invasiva y sin contacto con la radiación. **Resultados:** El incremento de la temperatura, en D1 y D2, se mantuvo por más de 5 minutos. Dicho aumento inició a partir de 5 minutos posteriores a la aplicación. Los incrementos de temperatura a los 5, 10 y 15 minutos fueron: 2.53°C, 3.17°C y 3.37°C (D1); y, 2.06°C, 2.79°C y 3.01°C (D2). **Conclusiones:** La ventana eficaz de tratamiento dura 5-10 minutos, teniendo el máximo efecto terapéutico 10 minutos posteriores a la aplicación. Este efecto se obtiene solo con pautas de dosificación específicas y con una correcta aplicación. Aunque el incremento se da en ambas dosificaciones, D1 logra un mayor incremento en menor tiempo. Por lo tanto, se obtiene una guía para una dosificación y aplicación de USC eficiente y adecuada.

Palabras clave: Ultrasonido continuo, termografía, efecto térmico y músculo gastrocnemio.

Summary

Introduction: The continuous ultrasound (USC) is an inaudible sound wave that when interacting with the body causes vibrations generating thermal effects. For USC to achieve its therapeutic effect, the temperature should be increased by 2 to 3°C minimum; and maintained for at least 5 minutes. **Objective:** Determine the duration of the thermal effect of continuous ultrasound at 3 MHz applied to the gastrocnemius muscle through thermography. **Materials and methods:** 1) Therapeutic Ultrasound BTL-5000 SWT POWER; 2) Thermography camera FLIR A310; 3) Analysis software; 4) Laser thermometer. Method: 30 volunteers (age 19-24 years) divided into two equal groups. With just one session of application with different USC dosages for each group: 3 MHz, 1W/cm² for 5 minutes (D1); y, 3 MHz, 0.5W/cm² for 10 minutes (D2), applied to the left gastrocnemius muscle. The temperature recording was registered through 5 photographs: before and after the application; and, 5, 10 and 15 minutes later. Analyze the temperature compartment with interpretation software. The thermography is simple, fast, safe, non-invasive and without contact with the radiation. **Results:** The temperature increase, on D1 and D2, was maintained more than 5 minutes. This increase started from 5 minutes later the application. The temperature increases to 5, 10 and 15 minutes were: 2.53°C, 3.17°C and 3.37°C (D1); and, 2.06°C, 2.79°C and 3.01°C (D2). **Conclusions:** The effective window treatment lasts 5-10 minutes, having the maximum therapeutic effect 10 minutes after application. This effect is obtained only with specific dosages and with a correct application. Although the increase was in both dosages, D1 achieves a greater increase in less time. Therefore, a guide for an efficient and appropriate dosage and application of USC is obtained.

Key words: Therapeutic ultrasound, thermographic, thermic effect and gastrocnemius muscle.

Dedicatorias

A nuestros padres por alentarnos, por motivarnos y por apoyarnos en cada una de nuestras decisiones. Sin ellos, este trabajo no sería posible.

A nuestros hermanos por ser motivación, por permanecer a nuestro lado y por brindarnos apoyo incondicional.

A mi compañera y amiga, Violeta Martínez, por emprender, seguir y culminar este camino juntas.

Dirección General de Bibliotecas de la UAO

Agradecimientos

Nuestro total agradecimiento a M.A. Arely Guadalupe Morales Hernández por su tiempo y apoyo incondicional durante todo el desarrollo de la investigación y por ser un ejemplo de constancia y disciplina., al Dr. Irving Albarrán Cruz por capacitarnos para el uso de la cámara termográfica y por su ayuda en el análisis termográfico y estadístico. Y por último a la Universidad Autónoma de Querétaro por proporcionarnos el espacio y el material necesario para llevar a cabo toda la investigación.

Dirección General de Bibliotecas de la UAQ

Índice

Contenido	Página
Resumen	i
Summary	ii
Dedicatorias	iii
Agradecimientos	iv
Índice	v
Índice de cuadros	vii
Abreviaturas y siglas	viii
I. Introducción	1
II. Antecedentes/estado del arte	3
III. Fundamentación teórica	5
III.1 Modos de transferencia de calor	5
III.2 Ultrasonido Terapéutico	6
III.3 Generación del ultrasonido	6
III.4 Efectos térmicos del ultrasonido	6
III.4.1 Efectos musculares	7
III.4.2 Efectos en el tendón y ligamento	7
III.4.3 Efectos sobre el dolor	8
III.4.4 Efectos hemodinámicos	8
III.4.5 Efectos en la conducción nerviosa	8
III.5 Consideraciones sobre la aplicación	9
III.5.1 Técnica de aplicación	9
III.5.2 Frecuencia	9
III.5.3 Ciclo de trabajo	9
III.5.4 Intensidad	9
III.5.5 Movimiento del transductor del ultrasonido	10
III.6 Precauciones y contraindicaciones	10
III.6.1 Efectos adversos	10
III.7 Termografía infrarroja	11

III.7.1 Principio de la termografía	11
III.7.2 Termografía	11
III.7.3 Funcionamiento de la cámara termográfica	11
III.7.4 Termograma	12
III.7.5 Paleta de colores	12
III.8 Protocolo de aplicación de la tecnología termográfica	12
IV. Hipótesis o supuestos	14
V. Objetivos	15
V.1 General	15
V.2 Específicos	15
VI. Material y métodos	16
VI.1 Tipo de investigación	16
VI.2 Población o unidad de análisis	16
VI.3 Muestra y tipo de muestra	16
VI.3.1 Criterios de selección	16
VI.3.2 Variables estudiadas	17
VI.4 Técnicas e instrumentos	18
VI.5 Procedimientos	19
VI.6 Análisis estadístico	20
VI.7 Consideraciones éticas	20
VII. Resultados	22
VIII. Discusión	30
IX. Conclusiones	32
X. Propuestas	34
XI. Bibliografía	35
XII. Anexos	38

Índice de tablas

Tabla		Página
1	VARIABLES estudiadas en el protocolo.	17
2	Imágenes de participantes en D1.	23
3	Imágenes de participantes en D2.	24
4	Significancia del aumento de la temperatura por etapas en D1.	28
5	Significancia del aumento de la temperatura por etapas en D2.	28
6	Significancia de la comparación del aumento de temperatura en D1 y D2.	29
7	Recolección de temperaturas por etapas, de cada sujeto, en D1	38
8	Recolección de temperaturas por etapas, de cada sujeto, en D2	38

Índice de figuras

Tabla		Página
1	Clasificación por edad.	22
2	Porcentajes de la diferencia de género.	22
3	Comportamiento total de la temperatura en D1.	25
4	Comportamiento total de la temperatura en D2.	26
5	Incremento de grados posterior a la aplicación en D1.	26
6	Incremento de grados posterior a la aplicación en D2.	27
7	Ultrasonido terapéutico BTL-5000 SWT POWER	39
8	Software de análisis	39
9	Cámara termográfica FLIR A310	39

Abreviaturas y siglas

°C	Grados Centígrados.
CM	Centímetros.
Dr.	Doctor.
D1	Dosificación número 1.
D2	Dosificación número 2.
EFT	Estudiante en Fisioterapia.
°F	Grados Fahrenheit.
Hz	Hertz.
JPG	Joint Photographic Experts Group.
M.A.	Maestría en Administración.
MHz	Mega Hertz.
P.	Página.
SUAF	Sistema Universitario de Atención en Fisioterapia.
TI	Termografía Infrarroja.
USC	Ultrasonido Continuo.
W/cm²	Watts sobre centímetro cuadrado.



I. Introducción

En términos generales, el ultrasonido terapéutico consiste en ondas sonoras que transmiten energía al comprimir y rarefactar (descomprimir) de forma alternativa un material particular (Cameron, 2014). De esta manera, interactúa con los tejidos del cuerpo provocando vibraciones que dan como resultado un efecto térmico o mecánico (Starkey, 2013). Por tanto, este es considerado como un agente de penetración profunda, que se clasifica en ultrasonido pulsátil y continuo.

El ultrasonido continuo (USC) es un agente físico que se utiliza ampliamente en fisioterapia para tratar lesiones crónicas de tipo musculoesquelético y otros tejidos blandos, como tendones y ligamentos. La aplicación de USC tiene un efecto terapéutico ya que, reduce el dolor en una lesión, disminuye los espasmos musculares e incrementa el flujo sanguíneo en los tejidos blandos.

Está documentado que el USC induce sus efectos benéficos a través de mecanismos celulares como el cambio en la permeabilidad de la membrana, el favorecimiento de la extensibilidad del tejido conectivo, la modificación de la conducción nerviosa, así como el incremento de la temperatura del tejido.

Se ha demostrado que existe un incremento de la temperatura tras la aplicación de USC en el tejido muscular (Michlovitz et al, 2012). Tal incremento en la temperatura muscular era antes cuantificado por medio de termómetros intramusculares, que generaban un riesgo de lesión o infección en el paciente (Draper et al, 1993). Dado que la duración del incremento en la temperatura muscular es un factor determinante en la eficiencia de los tratamientos en fisioterapia, resulta muy importante corroborar que un músculo particular conserve el calor por un tiempo mínimo requerido de 5 minutos, a fin de ejercer el efecto terapéutico térmico que es presumiblemente el responsable de la eficacia en los tratamientos (Knight & Draper, 2013). De ahí la importancia de medir la duración del incremento del calor inducido por USC.

En la literatura respecto a la aplicación de USC e inducción de calor, son escasos o nulos los reportes que describan la duración del efecto térmico utilizado en los tratamientos. Por lo tanto, surge la necesidad de desarrollar o implementar el uso de herramientas o nuevas

tecnologías a fin de corroborar el efecto térmico inducido por USC, y así fundamentar los lineamientos idóneos de este agente físico a utilizar en el tratamiento de afecciones musculoesqueléticas.

La termografía infrarroja (TI) cuyo uso original era para el mantenimiento predictivo de máquinas industriales mediante la obtención de la temperatura, con la finalidad de evitar pérdidas económicas para las empresas. Es una técnica que mide la temperatura o el calor irradiado a distancia de un cuerpo, sin necesidad de contacto físico con el objeto estudiado, mediante la captación de la radiación infrarroja del espectro electromagnético por medio de una cámara (Alvarado et al, 2018).

La termografía infrarroja en el ámbito de la fisioterapia ha sido utilizada en aplicaciones relacionadas con la higiene, seguridad laboral y ergonomía, así como, en la detección de lesiones musculares porque se considera una herramienta de análisis viable.

La realización del presente estudio pretende determinar la duración del efecto térmico a corto plazo del USC a 3 MHz en el tejido musculoesquelético, en individuos sanos. Dicho objetivo ayudará a la toma de decisiones sobre su uso, efectos, precisión y, sobre todo, conocer la seguridad de elección de dicho agente para el tratamiento de lesiones específicas. Michlovitz en 2012 recalcó la necesidad de ensayos bien diseñados que utilizan ultrasonido terapéutico para determinar el beneficio y dosis que afectarían de manera positiva en los pacientes.

De esta manera, este trabajo contribuirá al desarrollo de la fisioterapia basada en evidencia, impulsando la elección del tratamiento adecuado con base en el conocimiento científico y razonamiento clínico. El estudio es factible, debido a que la universidad cuenta con equipo de ultrasonido y con cámara termográfica; la cual permitirá realizar un seguimiento en tiempo real de la temperatura del paciente. A su vez, los investigadores están capacitados para su uso.

II. Antecedentes

Los primeros estudios en los que se observó que el ultrasonido puede aumentar la temperatura de los tejidos fueron publicados por Harvey en 1930, se concluyó que el ultrasonido alcanza una mayor profundidad y calienta áreas más pequeñas que la mayoría de los agentes de calentamiento superficial. (Cameron, 2014, p.175)

Posteriormente Draper y sus colegas en 1993 realizaron un estudio donde describieron los efectos del calentamiento del ultrasonido terapéutico a varias intensidades sobre el músculo tríceps sural no lesionado en 24 jóvenes sanos. La temperatura muscular se midió a profundidades de 0,8 y 1,6 cm debajo de la piel durante la aplicación de ultrasonido a 3 MHz y a 2,5 y 5 cm debajo de la piel durante la aplicación de ultrasonido a 1 MHz. Las temperaturas no difirieron entre los dos músculos (Michlovitz et al, 2012).

Años más tarde se publicó un estudio titulado "A Comparison of Human Muscle Temperature Increases During 3-MHz Continuous and Pulsed Ultrasound With Equivalent Temporal Average Intensities" en donde obtuvieron como resultado que el tratamiento con ultrasonido continuo produce un aumento de la temperatura de $2,8^{\circ}\text{C} \pm 0,8^{\circ}\text{C}$ por encima de la línea de base. Y el tratamiento con ultrasonido pulsado produce un aumento de temperatura de $2,8^{\circ}\text{C} \pm 0,7^{\circ}\text{C}$ por encima de la línea de base, por lo tanto, el análisis estadístico no reveló diferencias significativas en cualquiera de la medida o la tasa de aumento de la temperatura entre los 2 modos de aplicación de ultrasonidos (Gallo et al, 2004).

Y en lo que respecta a la comparación entre los efectos de las diferentes formas de onda de ultrasonido terapéutico de 1 MHz y 3 MHz Hauck et al. (2017) declaró que "Los efectos térmicos dependen de la frecuencia, aunque la profundidad de calentamiento de las frecuencias de onda de 0,86 MHz, 1 MHz, 2 MHz y 3 MHz siguió siendo la misma, lo que sugiere que una frecuencia más baja no causa un patrón de calentamiento profundo".

Por otro lado, la termografía infrarroja ha sido utilizada en estudios de diferentes áreas como herramienta cuantificable para el incremento de la temperatura en regiones corporales (Rajmanova & Nudzikova, 2015).

En el área de la fisioterapia la termografía se ha utilizado para evaluar, prevenir y detectar lesiones musculoesqueléticas como: tendinitis Aquilea y rotuliana, síndrome de los abductores, epicondilitis y bursitis, ya que estas lesiones pueden generar alteraciones de la temperatura de la piel. Marins, Cuevas y Lastras (2015) mencionaron “la termografía tiene una especial sensibilidad para la identificación patrones que pueden generar incremento de la temperatura, por lo tanto, puede ayudar al tratamiento y a controlar el proceso de evolución de cualquier lesión”.

Asimismo, se destaca el uso del análisis termográfico en la ergonomía, ya que permite la evaluación de posibles riesgos de sufrir lesiones musculoesqueléticas en operarios de la industria manufacturera. Morales refirió “La aplicación de la termografía infrarroja en la evaluación ergonómica de puestos de trabajo permite localizar y cuantificar, de forma no invasiva, el gradiente de temperatura generado por las zonas musculares que están siendo utilizadas en el trabajo o acción técnica” (2011, p. 65).

En relación con los agentes físicos, únicamente se ha realizado un estudio con el objetivo de hacer una valoración cuantitativa, mediante termografía infrarroja del proceso de vasodilatación provocado por las corrientes analgésicas, así mismo valorar las diferencias entre ellas y comprobar si la vasodilatación es debida al efecto Joule o saber si existen otros mecanismos (Rioja & Estévez, 2011).

III. Fundamentación teórica

Uno de los términos indispensables para el desarrollo de esta investigación es la definición de calor específico; que “es la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de un peso determinado de un material un número concreto de grados” (Cameron, 2014, p.124).

III.1 Modos de transferencia de calor

El calor se transfiere entre un sistema y su entorno siempre que exista una diferencia de temperaturas entre ambos, la transmisión de calor cesa en cuanto se alcanza el equilibrio térmico (Pita, 2015), esta transferencia puede darse por medio de conducción, convección, conversión, radiación o evaporación, tal como se describe a continuación:

- Conducción: “es la transferencia de calor por interacción directa de las moléculas del área más cálida al área más fría” (Michlovitz et al, 2012, p. 22).
- Conversión: “se produce por el contacto directo entre un medio circulante y otro material con diferente temperatura” (Cameron, 2014, p. 126).
- Radiación: es la transferencia de energía en forma de rayos, ondas o partículas, con frecuencia desde una fuente central. Todas las sustancias, con una temperatura mayor a cero absoluto, irradia calor a un cuerpo con menor temperatura mediante rayos infrarrojos (Knight & Draper, 2013).
- Evaporación: la transmisión se produce por la emisión de energía de la materia que se encuentra en una temperatura finita. Esta energía es transportada por ondas electromagnéticas (Pita, 2015).
- Conversión: “es el proceso por el cual una forma distinta al calor (electricidad, química, mecánica) se convierte en calor dentro del cuerpo” (Knight & Draper, 2013).

La fisioterapia utiliza transferencias de calor en la aplicación de agentes físicos, en el caso del ultrasonido terapéutico se utiliza la conversión.

III.2 Ultrasonido Terapéutico

Starkey definió el ultrasonido terapéutico como una “vibración acústica inaudible de alta frecuencia y de penetración profunda que produce cambios en el tejido a través de procesos térmicos y no térmicos” (2013, p. 168).

Posteriormente, en 2014 Cameron describió el ultrasonido como un tipo de sonido que transmite energía al comprimir y rarefactar de forma alternativa un material; es un sonido con una frecuencia mayor de 20.000 ciclos por segundo. Esta definición se basa en los límites normales de la audición en el ser humano. Los seres humanos pueden oír sonidos con una frecuencia de entre 16 y 20.000 Hz; a los sonidos con una frecuencia por encima de estos límites se les denomina ultrasonidos.

III.3 Generación del ultrasonido

El ultrasonido es producido por una corriente eléctrica alterna de alta frecuencia que fluye a través de un cristal, el cual permite la transducción de energía eléctrica en energía acústica por medio de su deformación (Starkey, 2013).

Cuando la corriente alterna pasa a través del cristal, éste se expande y contrae, creando lo que se conoce como efecto piezoeléctrico (Knight & Draper, 2013). Esta compresión y rarefacción alternante es la onda del ultrasonido terapéutico (Cameron, 2014).

III.4 Efectos térmicos del ultrasonido

Michlovitz et al (2012) explicó que cuando los tejidos absorben el ultrasonido y la energía cinética incrementa, la fricción entre las moléculas ocasiona una producción de calor. Dependiendo de la intensidad y duración de la aplicación del ultrasonido y de las propiedades físicas del tejido, puede producirse un aumento de la temperatura.

Una fuente indica que la temperatura de los tejidos debe elevarse a un nivel de 104-113°F (40-45°C) durante un mínimo de 5 minutos para que se produzcan la mayoría de los efectos térmicos. Las temperaturas por encima de 113°F (45°C) pueden causar daño a los tejidos, y 113°F (45°C) es una temperatura muy alta (Knight & Draper, 2013, p. 267).

Lehman y sus colegas informaron que una elevación de la temperatura del tejido de 1°C incrementa la tasa metabólica. Mientras que las elevaciones de 2°C a 3°C ocasionan reducción del dolor y espasmo muscular e incrementan el flujo sanguíneo. Los aumentos de 4°C o más son indispensables para incrementar la extensibilidad del colágeno e inhibir la actividad simpática (Michlovitz et al, 2012).

III.4.1 Efectos musculares

Uno de los principales usos del ultrasonido terapéutico es la reducción del dolor. El calor derivado de un tratamiento de ultrasonido ayuda a llevar sangre al área lesionada. A su vez, la sangre ayuda a eliminar los irritantes químicos, aumenta el suministro de oxígeno, altera la velocidad de conducción nerviosa y, en última instancia, relaja la tensión muscular. A medida que los músculos se relajan, el dolor disminuye y el espasmo muscular desaparece (Knight & Draper, 2013).

III.4.2 Efectos en el tendón y ligamento

El ultrasonido se usa para incrementar la extensibilidad del tejido y para alterar el proceso de cicatrización. En relación con el músculo para ser que se puede lograr mayores incrementos de temperatura a tasas más rápidas cuando se trata con ultrasonido un tejido conectivo denso como el tendón (Michlovitz et al, 2012).

Una razón por la cual el tendón se calienta más rápido y más intensamente que el músculo es por su mayor contenido de colágeno, pero otra razón probable es su relativa avascularidad. En los tejidos bien vascularizados como lo es el músculo, de inmediato se inicia un mecanismo de enfriamiento homeostático de vasodilatación y por ende se incrementa el flujo sanguíneo como respuesta al aumento de la temperatura de los tejidos. Esta respuesta disminuye cuando hay menos vasos sanguíneos presentes, como en el tendón y el ligamento (Michlovitz et al, 2012).

III.4.3 Efectos sobre el dolor

El ultrasonido puede controlar el dolor alterando su transmisión o su percepción o modificando la causa del dolor. Estos efectos pueden ser el resultado de la estimulación de los receptores cutáneos de la temperatura o del incremento de la extensibilidad de las partes blandas, cambios en la conducción nerviosa o por la modulación de la inflamación (Cameron, 2014).

III.4.4 Efectos hemodinámicos

A medida que la energía del ultrasonido es absorbida por el tejido, se produce una elevación de la temperatura. Como respuesta al aumento de la temperatura en el tejido sano, la sangre local de la zona incrementa para disipar el calor y restablecer la homeostasis de la temperatura (Michlovitz et al, 2012).

Starkey (2013) mencionó que el ultrasonido continuo puede aumentar el flujo sanguíneo y permanecer en el nivel de pretratamiento durante los primeros 60 a 90 segundos de la aplicación, después de este punto el flujo sanguíneo aumenta, regulando la el incremento de la temperatura al transportar el calor de la zona. Eventualmente, un equilibrio entre el calor suministrado y el calor eliminado por la sangre alcanzará un equilibrio y se logrará mantener una temperatura constante.

Sin embargo, existen otros factores fisiológicos que también pueden influir en el aumento del flujo sanguíneo. La alteración de la permeabilidad de la membrana celular podría ocasionar una disminución del tono vascular, lo cual causaría una dilatación de los vasos y la histamina liberada en él también podría causar vasodilatación provocando el incremento del flujo sanguíneo (Starkey, 2013).

III.4.5 Efectos en la conducción nerviosa

El ultrasonido continuo influye en la transmisión de los impulsos nerviosos al causar cambios dentro de las fibras nerviosas. Se ha demostrado que las velocidades de conducción nerviosa motora aumentan, disminuyen o permanecen inalteradas cuando se exponen a la

aplicación del ultrasonido dependiendo de los parámetros de tratamiento (Michlovitz et al, 2012).

III.5 Consideraciones sobre la aplicación

III.5.1 Técnica de aplicación

A continuación, se describen las pautas necesarias para establecer los parámetros de dosificación adecuados para una aplicación segura y eficaz del ultrasonido terapéutico, cada uno de ellos se elige de acuerdo al objetivo de tratamiento y a la profundidad del tejido a tratar.

III.5.2 Frecuencia

La profundidad de penetración de la energía ultrasónica en los tejidos está inversamente relacionada con la frecuencia de salida, cuando el tejido diana se encuentran a 5 cm de la superficie corporal se utilizan frecuencias de 1 MHz y cuando el tejido se encuentra a una profundidad entre 1 y 2 cm, se utilizan frecuencias de 3 MHz (Cameron, 2014) (Knight & Draper, 2013).

III.5.3 Ciclo de trabajo

La onda continua se asocia con el incremento de temperatura, por lo tanto, se utiliza un ciclo de trabajo del 100%. Con un ciclo de trabajo del 50% es probable que se produzca un calentamiento muy leve y cuando se usa el 20% se obtienen efectos no térmicos (Michlovitz et al, 2012).

III.5.4 Intensidad

La intensidad es la velocidad a la que se suministra la energía por unidad de área cuando se quiere aumentar la temperatura del tejido se trabaja con una frecuencia de 1 MHz a una intensidad de 1.5 y 2 W/cm², en el caso de que se utilice la frecuencia de 3 MHz es suficiente utilizar una intensidad de 0.5 W/cm². Es importante considerar que, si la intensidad incrementa, se reduce el tiempo de tratamiento; si se reduce la intensidad, se aumenta el tiempo de tratamiento (Cameron, 2014) (Michlovitz et al, 2012).

Por lo tanto, la duración del tratamiento se establece en función del área a tratar y el ARE (superficie radiante efectiva) del cabezal del transductor. Para cualquier aplicación, el ultrasonido debe colocarse durante 5-10 minutos para cada área de tratamiento que sea el doble del ARE del transductor (Cameron, 2014).

III.5.5 Movimiento del transductor del ultrasonido

El transductor se mueve a una velocidad aproximada de 4 cm/s lo necesario para mantener el movimiento y lo suficientemente lento como para mantener el contacto con la piel, si el cabezal se mantiene estático, es probable que algunas superficies corporales reciban un porcentaje desproporcionadamente alto de la energía emitida, y otras áreas pueden recibir muy poco reduciendo la eficacia del tratamiento (Cameron, 2014).

III.6 Precauciones y contraindicaciones

Michlovitz et al (2012) refirió que el ultrasonido es una intervención relativamente segura, sin embargo, existen situaciones específicas en las que se debe tener precaución con su uso para evitar daño al paciente, algunas de ellas se describen a continuación:

- Evitar el uso del ultrasonido continuo en condiciones agudas.
- Tener cuidado al tratar áreas de disminución de la sensibilidad.
- Evitar su uso con pacientes con problemas vasculares que involucran tromboflebitis.
- No se debe aplicar sobre órganos reproductores, especialmente en testículos.
- El uso del ultrasonido en la región abdominal o lumbar está contraindicado durante el embarazo.
- Se debe tener precaución al tratar las áreas alrededor del corazón debido a que las ondas pueden interferir con los circuitos eléctricos de los marcapasos cardíacos, por lo tanto, el tratamiento con dicho agente debe limitarse a las zonas alejadas.

III.6.1 Efectos adversos

Cameron (2014) mencionó, son muy pocos los casos en los que se han descrito efectos adversos del ultrasonido, sin embargo, si se aplica de manera incorrecta o en las situaciones en las que está contraindicado, se puede generar algún efecto adverso. El más frecuente es la quemadura, que puede aparecer cuando se usa el ultrasonido en modo continuo a una alta intensidad, especialmente si se utiliza con técnica estática, el riesgo de que aparezca la quemadura incrementa cuando el paciente presenta alteración de la sensibilidad o de la circulación.

III.7 Termografía infrarroja

III.7.1 Principio de la termografía

Todos los cuerpos cuya temperatura exceda el cero absoluto (0 K o -273 °C) emiten una radiación térmica que el ojo humano no alcanza a percibir. La magnitud de dicha radiación está relacionada directamente con la temperatura del objeto. Mientras más caliente se encuentre, más energía infrarroja emitirá (Olarte et al, 2011).

III.7.2 Termografía

La termografía es una técnica de medición de temperatura en tiempo real ha sido utilizada en áreas como: la agrónoma, la psicología, la industria civil y militar, la construcción e incluso en la medicina. Actualmente se considera una técnica útil y en creciente auge (Domínguez et al, 2011).

La termografía infrarroja (TI) es una técnica que mide la temperatura o el calor irradiado a distancia de un cuerpo y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar, mediante la captación de la radiación infrarroja del espectro electromagnético por medio de una cámara (Alvarado et al, 2018, p. 2).

La cámara infrarroja se encarga de recibir y cuantificar las radiaciones térmicas emitidas y reflejadas por los diferentes materiales a través de una imagen radiométrica, en ella

cada píxel representa una traducción a color de la cantidad de radiación que ha recibido la cámara (Melgosa, 2011).

III.7.3 Funcionamiento de la cámara termográfica

La energía infrarroja que proviene de cualquier objeto se hace converger por medio de la óptica sobre un sensor; este sensor transforma la señal radiante en una señal eléctrica para que pueda ser procesada y representada como una imagen en la pantalla o display. La imagen que se genera se denomina termograma (OlarTE et al, 2011).

III.7.4 Termograma

El termograma permite identificar los puntos más calientes del objeto, el valor exacto de la temperatura de cada uno de ellos y verifica la uniformidad de la temperatura del objeto por medio de la paleta de colores (OlarTE et al, 2011).

III.7.5 Paleta de colores

Los termogramas y el uso de software facilitan el uso de las paletas de colores, sin embargo, esto depende del área en que se vaya a ocupar, en ingeniería se utiliza la paleta denominada "Iron", donde lo más caliente se muestra en la gama de los amarillos hacia el blanco (el más caliente). Y en medicina se utiliza "Rainbow" o "Spectral order of colors", donde la variación de temperatura no suele superar los 10 grados, las más utilizadas son la "Rainbow" donde el rojo es la máxima temperatura y el azul la más fría (Domínguez et al, 2011).

III.8 Protocolo de aplicación de la tecnología termográfica

Domínguez (2011) mencionó que para la aplicación de la termografía en el cuerpo humano se necesita de un protocolo que estandarice el proceso para minimizar errores y asegurar la calidad de la aplicación. Este protocolo se describe a continuación:

- 1] Laboratorio o sala de investigación: se recomienda que el espacio sea de al menos 3x4 metros, con la finalidad de que la cámara y el sujeto mantenga una

distancia mínima de 2 metros. Se recomienda que haya el menor número de accesorios posibles y que existan asientos que ayuden a la medición.

- 2] Temperatura ambiente: lo ideal es que la temperatura esté entre 18°C y 25° C que no varíe más de 1° C durante la prueba. Es recomendable contar con un algún aparato de refrigeración que mantenga la temperatura de la sala, sin embargo, es importante considerar algunas medidas específicas de acuerdo a la zona a evaluar, en el caso de valorar extremidades inferiores la temperatura debe permanecer entre 22 y 24 °C.
- 3] Captación de las imágenes: la medición más correcta es la que se realiza con el sujeto en un ángulo recto respecto a la cámara, por lo tanto, dependiendo de la zona a medir y del tamaño se debe ajustar la distancia, el enfoque y la altura a la que se colocará la cámara del suelo.
- 4] Preparación del sujeto/ paciente: evitar la presencia de cosméticos en la piel, la ingesta de alcohol, ser fumador, llevar previamente ropa ajustada o que se haya realizado actividad física en los momentos previos. Antes de realizar la prueba el sujeto tiene que acondicionarse a la temperatura de la sala durante 15 minutos, evitar que cruce brazos o piernas, porque puede generar una alteración en el flujo sanguíneo.
- 5] Análisis de imágenes y escalas: el sujeto debe mantenerse lo más quieto posible al momento de realizar la toma. Al obtener la imagen, ésta se debe analizar teniendo en cuenta el rango de temperaturas de la misma, ajustando la escala no sólo durante la medición sino también en el análisis.

IV. Hipótesis

Hipótesis de trabajo: Existe un efecto térmico del ultrasonido continuo a 3 MHz aplicado al músculo gastrocnemio a través de termografía.

Hipótesis nula: El ultrasonido continuo a 3 MHz aplicado al músculo gastrocnemio genera un efecto térmico menor o igual a 5 minutos a través de termografía.

Hipótesis alterna: El ultrasonido continuo a 3 MHz aplicado al músculo gastrocnemio genera un efecto térmico mayor a 5 minutos a través de termografía.

Dirección General de Bibliotecas de la UAQ

V. Objetivos

V.1 Objetivo general

Determinar la duración del efecto térmico del ultrasonido continuo a 3 MHz aplicado al músculo gastrocnemio a través de termografía.

V.2 Objetivos específicos

Determinar el efecto térmico a través de la medición termográfica en intervalos de tiempo de 5, 10 y 15 minutos después de la aplicación de ultrasonido continuo a 3 MHz al músculo gastrocnemio.

VI. Material y métodos

VI.1 Tipo de investigación

Cuasi experimental, descriptivo, longitudinal y prospectivo.

VI.2 Población o unidad de análisis

Jóvenes que cumplieran con los criterios de inclusión, de entre 19 a 24 años de edad. Participando de manera voluntaria en la investigación.

VI.3 Muestra y tipo de muestra

Muestra: Muestreo por cuotas con un total de 30 personas, que cumplieran con las características solicitadas y decidieran participar en el estudio. Generando dos grupos aleatorios de 15 personas para cada dosificación.

Tipo de muestreo: Muestreo no probabilístico, por conveniencia.

VI.3.1 Criterios de selección

Criterios de inclusión.

- Jóvenes que deseen participar voluntariamente en la investigación con previo consentimiento informado.
- Jóvenes que estén en el rango de edad de 19 a 24 años.

Criterios de exclusión.

- Presencia de tromboflebitis o alteraciones hemodinámicas.
- Jóvenes que hayan presentado algún traumatismo musculoesquelético en los últimos seis meses.
- Jóvenes que por su actividad física estén expuestos a traumatismos constantes en miembro inferior.
- Jóvenes que presenten alteración de la sensibilidad en miembro inferior.
- Jóvenes que tengan heridas abiertas, erupción cutánea, inflamación o infección.
- Jóvenes con algún tipo de enfermedad autoinmune.
- Jóvenes que presenten sensibilidad a la terapia con ultrasonido terapéutico.

Criterios de eliminación.

- Jóvenes en los que se detecte información falsa acerca de su condición de salud el día de la evaluación.
- Jóvenes que no concluyan con la aplicación del ultrasonido o con la toma de las 5 fotografías.
- Jóvenes que decidan abandonar el estudio.

VI.3.2 Variables estudiadas

Tabla 1. Variables estudiadas en el protocolo.

Nombre	Concepto	Operación	Tipo de variable	Indicador
Temperatura	Es una magnitud física que refleja la cantidad de calor, ya sea de un cuerpo, de un objeto o del ambiente.	Cámara termográfica; toma de imagen a inicio, después de aplicación de ultrasonido en periodos de 5, 10 y 15 min.	Dependiente Cuantitativa continua	Grados Celsius
Intensidad	Potencia por unidad de área del transductor de ultrasonido, expresado en vatios por centímetro	Programación de Ultrasonido con intensidad de 1.0, 1.5 y 2.0 W/cm ²	Independiente Cuantitativa Continua	W/cm ²

	cuadrado (Cameron,2014)			
Frecuencia	Número de ciclos de compresión-rarefacción por unidad de tiempo, expresado en ciclos por segundo o hertzios (Cameron,2014)	Programación de Ultrasonido de tipo continuo a 3 MHz	Independiente Cuantitativa discreta	MHz
Tiempo	Desde la Física es posible definir al tiempo como la separación de los acontecimientos que son sometidos al cambio.	Cronómetro; medir el tiempo de aplicación durante 7 minutos. Medir cada 5 minutos.	Independiente Cuantitativa Discreta	Sg
Género	Es la suma de valores, actitudes, papeles, prácticas o características basadas en el sexo. (Zapata,2016)	Indicar en la recolección de datos el género correspondiente	Cualitativa Nominal	Masculino/ Femenino

VI.4 Técnicas e instrumentos

Para la aplicación se utilizó: 1) Ultrasonido terapéutico BTL-5000 SWT POWER; 2) Cámara FLIR A310, con una resolución de 320 x 240 pixeles y una sensibilidad térmica de 0.05 a 30°C, colocado a una distancia aproximada de 1.2 mts. del objetivo; 3) Software de la cámara; 4) Termómetro digital y láser; 5) Aire acondicionado y calefactor.

En el software de la cámara se registró: temperatura ambiental de 20°C con una variación de $\pm 2^\circ\text{C}$; y el porcentaje de humedad relativa entre 40 y 60% (ambas obtenidas con un medidor de calidad de aire); así como, la temperatura del músculo gastrocnemio de la pierna izquierda (obtenida a través de un termómetro láser).

El registro de la temperatura se llevó a cabo a través de la toma de 5 fotografías, las cuales fueron registradas con el número de cada toma (1-5) con extensión “.jpg” y guardadas en una carpeta en la computadora utilizada, con el folio del paciente.

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones de la Facultad de Enfermería campus Corregidora en el laboratorio de la licenciatura en Fisioterapia de la Universidad Autónoma de Querétaro. El laboratorio contó con la amplitud necesaria para respetar los requerimientos para el uso de la cámara termográfica.

VI.5 Procedimientos

Se solicitó la aprobación del protocolo de investigación por parte del comité de bioética de la Facultad de Enfermería de la Universidad Autónoma de Querétaro, así mismo se pidió en la coordinación de la Licenciatura en Fisioterapia la autorización para el uso de las instalaciones, equipo de ultrasonido y cámara termográfica del Sistema Universitario de atención en fisioterapia (SUAF).

Una vez aprobadas ambas peticiones, se dio a conocer una convocatoria abierta donde se describió el objetivo del protocolo, así como los criterios de inclusión y exclusión para la participación voluntaria de jóvenes aparentemente sanos en la investigación.

Por cuestiones bioéticas a cada participante se le entregó un consentimiento informado (Anexo 3) para que conociera de manera detallada la finalidad del estudio, así como, todos los requisitos para participar en él, se llegó a un acuerdo con todos los participantes para estipular la hora y la fecha en que se realizaría la aplicación del ultrasonido y la toma de las fotografías.

Se les pidió a los participantes que cumplieran con los siguientes requisitos:

- Presentarse con ropa cómoda y con short.
- Disponer del tiempo necesario para todo el proceso aproximadamente 1 hora.
- Presentarse 5 minutos antes de la hora estipulada.
- No utilizar ningún tipo de sustancia o cosmético en la piel de la zona a tratar.
- No realizar actividad física el día de la aplicación.

- No consumir alcohol o tabaco durante las últimas 72 horas.
- No consumir alimentos calientes o picantes previamente.
- No llevar ropa ajustada previamente.
- No presentar lesiones, alergias o erupciones sobre la zona a tratar.

El día de la aplicación, la temperatura de la sala se encontraba a 21°C, el participante se acondicionó durante 15 minutos sin moverse, ni cruzar piernas o brazos, y se le entregó el consentimiento informado. Durante este lapso, se determinó la zona de aplicación del US, con una plantilla de 10x5 cm marcada sobre la gastrocnemio porción medial, pierna izquierda; tomando de referencia la intersección entre: la circunferencia máxima de la pantorrilla izquierda, y la longitud medida desde inserción de la cabeza medial del gastrocnemio y la inserción del tendón aquileo.

Tras pasar los 15 minutos se tomó la primera fotografía con la cámara termográfica, que indicó la temperatura basal del músculo. Al terminar la toma, el participante se colocó sobre una camilla, en decúbito prono; se procedió a la aplicación del US continuo con 2 ml de gel conductor y una dosificación a 3 MHz, 1 W/cm² por 5 minutos en el primer grupo; 3 MHz, 0.5 W/cm² por 10 minutos en el segundo grupo. Se utilizó un metrónomo que proporcionó retroalimentación auditiva para controlar la velocidad de movimiento al aplicar el ultrasonido.

Inmediatamente después de la aplicación se tomó la segunda foto, que permitió conocer la diferencia del incremento de la temperatura, a partir de ahí, se contabilizaron 5, 10 y 15 minutos donde se realizaron las tomas 3, 4 y 5. Posteriormente, se realizó el análisis termográfico de cada fotografía y los datos arrojados fueron registrados en Excel para posteriormente realizar el análisis estadístico.

VI.6 Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico obteniendo la media para cada una de las etapas en D1 y D2. Además, de obtener la media y desviación estándar para las edades. Y a su vez, se realizó prueba t de Student para muestras emparejadas con el fin de indagar si los datos

arrojados en D1 y D2 son estadísticamente significativos, así como las diferencias encontradas al comparar ambos grupos. El análisis de los datos fue realizado en el programa Excel, versión 2019.

VI.7 Consideraciones éticas

El presente estudio de investigación considera lo descrito en el código de Núremberg, apartados del 1- 10; la Declaración de Helsinki, principios I, 1.1 -1.12 y III; y la Ley General de Salud, artículo 13°, 14°, 17° y 100°. Los cuales aseguran la protección de la vida, la salud, la dignidad, la integridad, el derecho a la autodeterminación, la intimidad y la confidencialidad de la información personal de los participantes de esta investigación, asegurando a su vez la protección del medio ambiente, por medio de una práctica segura, eficaz, efectiva, accesible y de calidad. Garantizando una práctica que anteponga la integridad física y moral de los sujetos de estudio.

El protocolo se encuentra sustentado y explicado en los apartados anteriores, tomando en cuenta su aceptación por el Subcomité de Investigación de la Facultad de Enfermería de la Universidad Autónoma de Querétaro. Además, su aplicación, estará en constante revisión por el asesor responsable de los investigadores principales. A su vez se respeta la integridad, bienestar, intimidad y confidencialidad del participante, sin exponerlos a riesgos que sobrepasen los beneficios de la investigación.

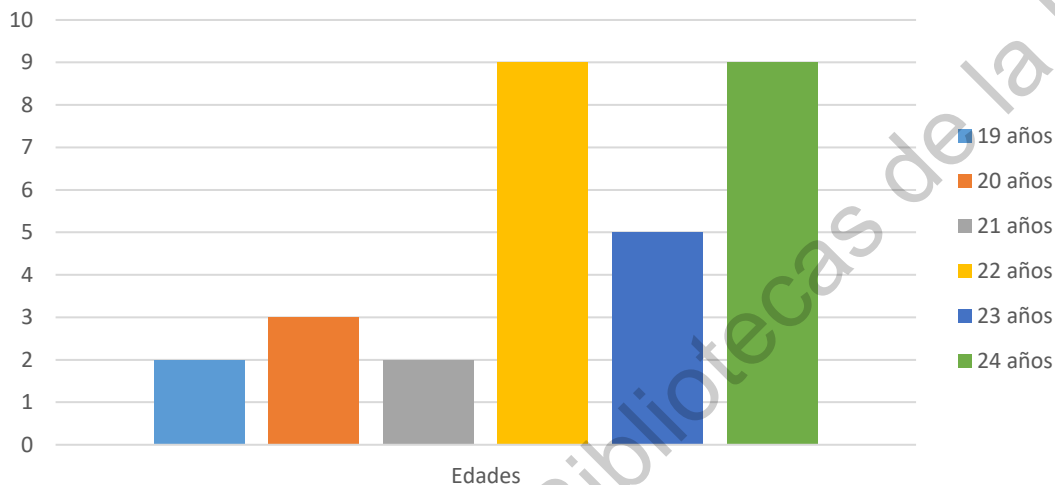
Se les entregará un consentimiento informado en el cual se describe la investigación, objetivos, métodos y riesgos posibles del protocolo a aplicar; se contará con un tiempo de respuestas a preguntas y dudas verbales, en persona, para que exista claridad de lo estipulado en el consentimiento informado. Los individuos que participen dentro de este protocolo deberán hacerlo por voluntad propia, además de haber leído y firmado el consentimiento informado.

La aplicación de este protocolo mantiene el deber de protección de vida y salud del participante. Además, si en algún momento el sujeto desea no seguir participando o se ve en riesgo su integridad o salud, se suspenderá la investigación en él.

VII. Resultados

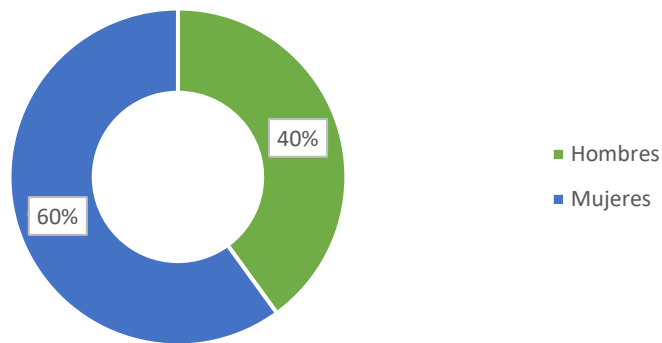
El presente estudio se realizó en 30 sujetos sanos con una edad promedio de 22.3 \pm 1.6 años, los cuales fueron divididos en dos grupos equitativos.

Fig. 1. Clasificación por edad.



De la muestra total el 40% fueron hombres y el 60% fueron mujeres. La aplicación se desarrolló, sobre el músculo gastrocnemio izquierdo, con dosificaciones diferentes de USC para cada grupo: 3 MHz, 1W/cm² por 5 minutos (D1); y, 3 MHz, 0.5W/cm² por 10 minutos (D2) realizada en una sola sesión.

Fig. 2 Porcentajes de la diferencia de género.


















En la tabla 2 se muestran algunos ejemplos de la recolección de imágenes capturadas por la cámara termográfica en D1. Los cuales muestran el comportamiento de la temperatura en cada una de las etapas de cada participante.

Tabla 2. Imágenes de participantes en D1.

Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 5
Sujeto 1				
Sujeto 2				
Sujeto 3				

La tabla 3 muestra ejemplos de la recolección de imágenes capturadas por la cámara termográfica en D2. Donde se observa el comportamiento de la temperatura en las etapas de cada participante.

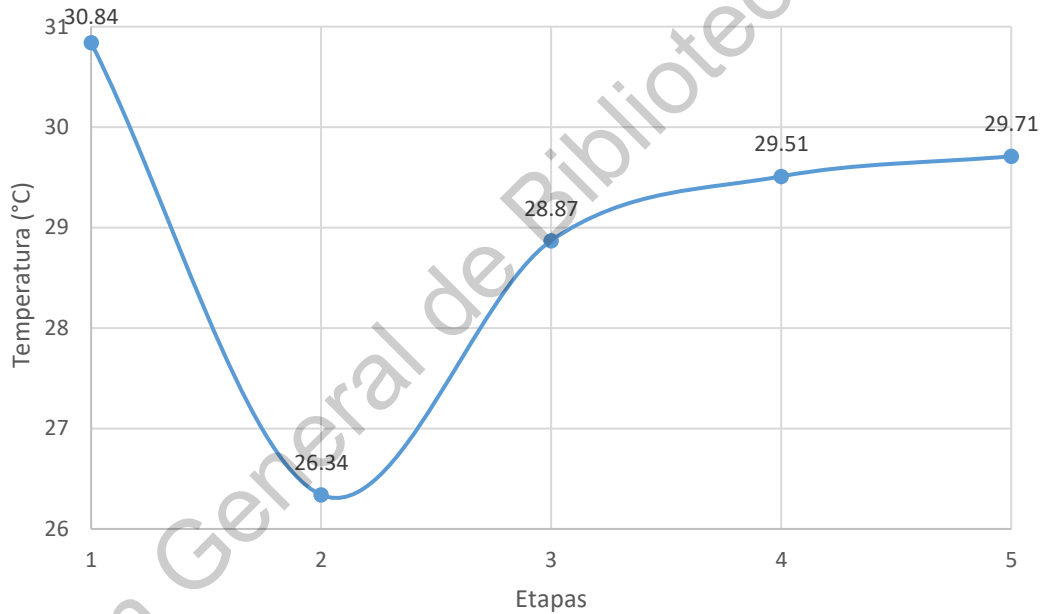
Tabla 3. Imágenes de participantes en D2.

Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa5
Sujeto 1				
 <p>Dist = 1.2 Trefl = 23.6 ε = 0.98</p>	 <p>Dist = 1.2 Trefl = 24.9 ε = 0.98</p>	 <p>Dist = 1.2 Trefl = 25.4 ε = 0.98</p>	 <p>Dist = 1.2 Trefl = 27.0 ε = 0.98</p>	 <p>Dist = 1.2 Trefl = 27.0 ε = 0.98</p>
Sujeto 2				
 <p>Dist = 1.2 Trefl = 30.6 ε = 0.98</p>	 <p>Dist = 1.2 Trefl = 26.9 ε = 0.98</p>	 <p>Dist = 1.2 Trefl = 27.0 ε = 0.98</p>	 <p>Dist = 1.2 Trefl = 28.4 ε = 0.98</p>	 <p>Dist = 1.2 Trefl = 28.4 ε = 0.98</p>
Sujeto3				
 <p>Dist = 1.2 Trefl = 30.2 ε = 0.98</p>	 <p>Dist = 1.2 Trefl = 26.4 ε = 0.98</p>	 <p>Dist = 1.2 Trefl = 28.0 ε = 0.98</p>	 <p>Dist = 1.2 Trefl = 28.0 ε = 0.98</p>	 <p>Dist = 1.2 Trefl = 28.4 ε = 0.98</p>

En la siguiente gráfica de dispersión se muestra el comportamiento de la temperatura, de D1, a lo largo de todo el protocolo de investigación. El cual se divide en etapas:

- Etapa 1: temperatura basal.
- Etapa 2: al término de la aplicación.
- Etapa 3: 5 minutos posteriores a la aplicación.
- Etapa 4: 10 minutos posteriores a la aplicación.
- Etapa 5: 15 minutos posteriores a la aplicación.

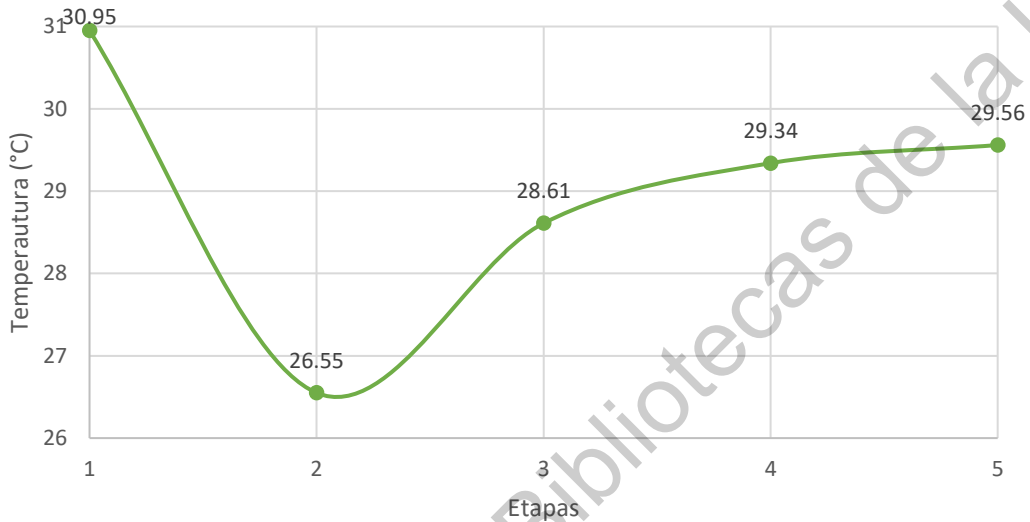
Fig. 3. Comportamiento total de la temperatura en D1.



Posterior al término de la aplicación del USC, se observó un periodo de decremento de la temperatura (Etapa 2), probablemente debido a un mecanismo de termorregulación corporal. Por ello, el incremento será tomado y comparado a partir de esta etapa.

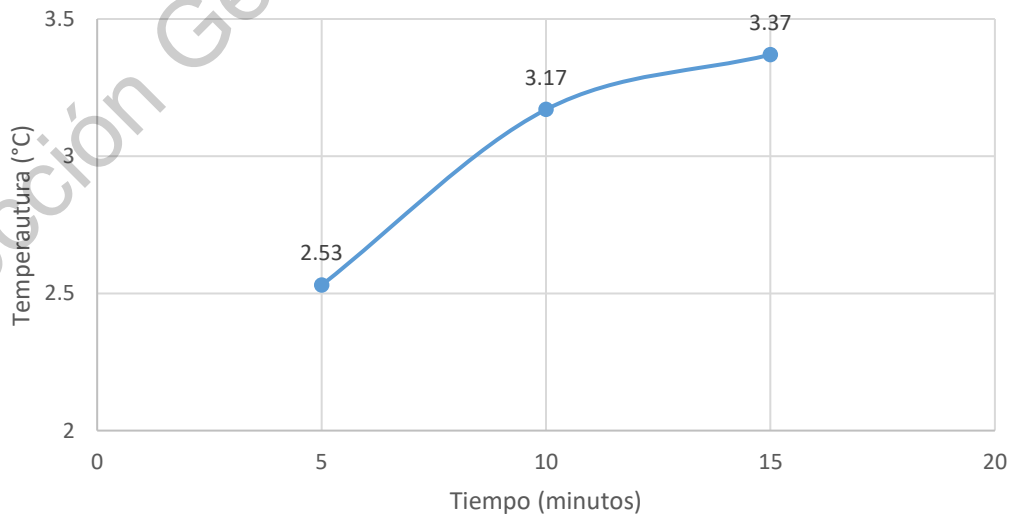
De la misma manera, la figura 4 expone los cambios de temperatura ocurridos durante todo el protocolo en D2. Tomando en cuenta las 5 etapas mencionadas anteriormente. Adicionalmente, se resalta que en la Etapa 2 se muestra un periodo de decremento de la temperatura, de manera similar a la dosificación 1.

Fig. 4. Comportamiento total de la temperatura en D2.



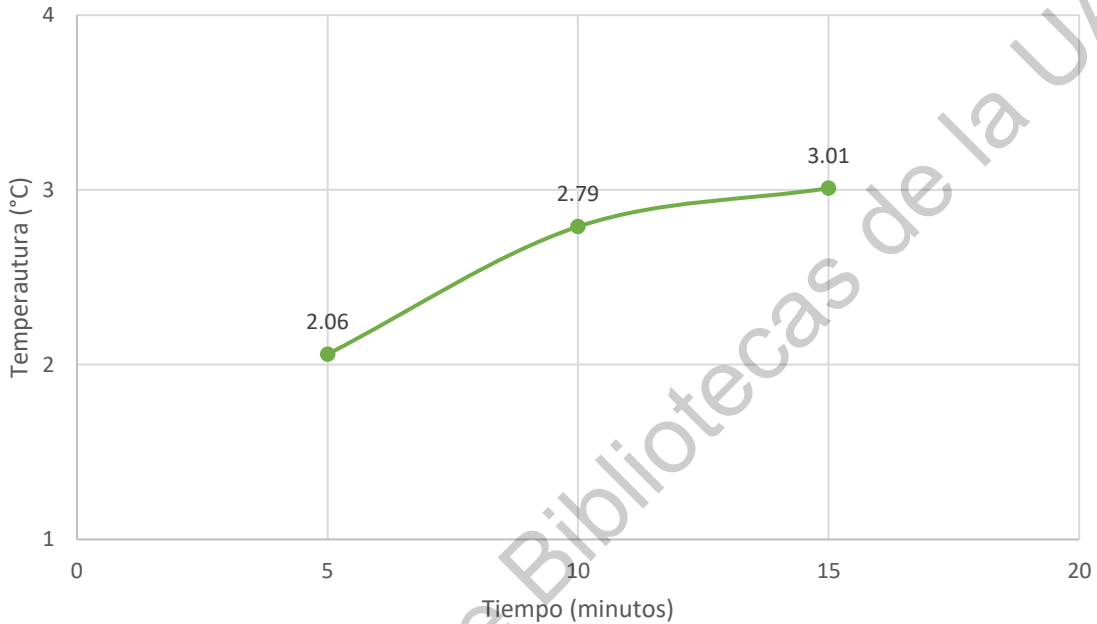
En la figura 5 se muestra una media de incrementos de 2.53°C a los 5 minutos, 3.17°C a los 10 minutos y 3.37°C a los 15 minutos, correspondientes a D1.

Fig. 5. Incremento de grados posterior a la aplicación en D1.



Adicionalmente, en la figura 6 se observan incrementos de 2.06°C a los 5 minutos, 2.79°C a los 10 minutos y 3.01°C a los 15 minutos, correspondientes a D2.

Fig. 6. Incremento de grados posterior a la aplicación en D2.



Se evidenció que, en ambos grupos finalizan con un aumento significativo de la temperatura. Sin embargo, en la dosificación 1 el incremento es mayor en comparación con la dosificación 2. Destacando que en ambas dosificaciones el aumento máximo, 3.37 °C para D1 y 3.01°C para D2, se dio a los 15 minutos posteriores a la aplicación (Etapa 5).

De esta manera, en la tabla 4 se muestran los valores significativos arrojados por el análisis estadístico de p (significancia); y, los valores de ΔT , los cuales refieren los incrementos de temperaturas por etapas.

Adicionalmente, M1 y M2 se refieren a los valores de comparación de temperatura por etapas, donde M1 es la etapa inicial a comparar y M2 la etapa final de comparación. Por ejemplo, para la primera comparativa, M1 es el valor de temperatura promedio de la Etapa 1 y M2 el valor de temperatura promedio de la Etapa 2.

Tabla 4. Significancia del aumento de la temperatura por etapas en D1.

Dosificación 1 3 MHz, 1 W/cm, 5 minutos				
	M1 (°C)	M2 (°C)	P	ΔT (°C)
Etapa 1-2	30.84	26.34	1.2894E-11	- 4.5
Etapa 2-3	26.34	28.87	3.0273E-10	2.53
Etapa 3-4	28.87	29.51	5.874E-06	0.84
Etapa 4-5	29.51	29.71	8.1485E-05	0.2
Etapa 1-5	30.84	29.71	3.2893E-09	1.13
Etapa 2-5	26.34	29.71	1.55698E-06	3.37

De forma similar, se agrega la tabla 5 para exponer los valores significativos de la dosificación 2. Considerando que “p”, ΔT , M1 y M2 significan los mismos valores mencionados anteriormente.

Tabla 5. Significancia del aumento de la temperatura por etapas en D2.

Dosificación 2 3 MHz, 0.5 W/cm, 10 minutos				
	M1 (°C)	M2 (°C)	P	ΔT (°C)
Etapa 1-2	30.95	26.55	2.2247E-08	- 4.4
Etapa 2-3	26.55	28.61	4.2764E-07	2.06
Etapa 3-4	28.61	29.34	0.0001	0.73
Etapa 4-5	29.34	29.56	0.0007	0.22
Etapa 1-5	30.95	29.56	5.2706E-06	1.39
Etapa 2-5	26.55	29.56	5.55285E-07	3.01

Además, se realizó un análisis de comparación para indagar si el incremento de temperatura entre cada dosificación es estadísticamente significativo. La tabla 6 muestra que no se obtuvieron resultados significativos entre ambas dosificaciones, ya que en la prueba t de Student no se obtuvieron valores menores a 0.05.

Tabla 6. Significancia de la comparación del aumento de temperatura en D1 y D2.

Significancia de la comparación del aumento de temperatura			
	Dosificación 1 (°C)	Dosificación 2 (°C)	Prueba t
Etapa 1-2	-4.5	-4.4	0.7922
Etapa 2-3	2.53	2.06	0.0843
Etapa 2-4	3.17	2.79	0.1232
Etapa 2-5	3.37	3.01	0.3004

VIII. Discusión

La temperatura muscular era antes cuantificada por medio de termómetros intramusculares, que generaban un riesgo de lesión o infección en el paciente (Draper et al, 1993). Actualmente existen otros métodos como lo es la termografía infrarroja, la cual ha sido utilizada en estudios de diferentes áreas como herramienta cuantificable para el incremento de la temperatura en regiones corporales (Rajmanova y Nudzikova, 2015). Durante la realización de este estudio se resaltan los beneficios de esta técnica, la cual mide en tiempo real el cambio y aumento de la temperatura de un cuerpo. Además, su aplicación es sencilla, rápida, segura, no invasiva y sin emitir radiación; el sujeto no está expuesto a lesiones tisulares ni infecciones en comparación con técnicas invasivas usadas en investigaciones anteriores. Resaltando los beneficios para los sujetos y la propia investigación.

Respecto a la temperatura en estudios anteriores se ha demostrado que existe un incremento de la temperatura tras la aplicación de USC en el tejido muscular, el cual depende de su densidad (Michlovitz et al, 2012). Asimismo, Gallo (et al, 2004) en su investigación obtuvieron como resultado que el tratamiento con ultrasonido continuo produce un aumento de la temperatura de $2,8^{\circ}\text{C} \pm 0,8^{\circ}\text{C}$ por encima de la línea de base.

En este estudio, tras la aplicación de USC en el músculo gastrocnemio, se registró un aumento de la temperatura comparada con la etapa de decremento. El cual fue medido a través de una cámara termográfica; y registrado durante tres periodos de 5 minutos posteriores a su aplicación. Encontrando 3.37°C de aumento en D1 y 3.02°C en D2. De esta manera se comprueba que el USC sí genera un aumento de la temperatura en el tejido muscular tal como lo menciona Michlovitz en 2012.

Tras analizar el comportamiento de la temperatura, se observó que inmediatamente después de la aplicación de USC se generó un decremento de temperatura tal como lo menciona Morishita (et al, 2014). Sin embargo, 5 minutos posteriores inició el aumento de la temperatura, justo como se encontró en la investigación de Noble y colegas en 2007; generando en este protocolo incrementos de 2.53°C a los 5 minutos, 3.17°C a los 10 minutos y 3.37°C a los 15 minutos, todos correspondientes a D1; y a su vez 2.06°C a los 5 minutos, 2.79°C a los 10 minutos y 3.01°C a los 15 minutos, correspondientes a D2.

Leman y sus colegas informaron los efectos obtenidos tras la elevación de la temperatura del tejido, dependiendo los grados aumentados: 1°C incrementa la tasa metabólica; mientras que las elevaciones de 2°C a 3°C ocasionan reducción del dolor y espasmo muscular e incrementan el flujo sanguíneo. Los aumentos de 4°C o más son indispensables para incrementar la extensibilidad del colágeno e inhibir la actividad simpática (Michlovitz et al, 2012).

Los grados de temperatura obtenidos en el presente estudio generan los efectos térmicos esperados, tal como lo mencionaron Michlovitz (2012), López Fernández (2017) y Lemman (1970). La mayoría de los efectos térmicos deben conservarse por un tiempo mínimo de 5 minutos, para ser un factor determinante en la eficacia de los tratamientos en fisioterapia (Knight & Draper, 2013). Esta investigación arrojó una duración del efecto térmico de 10 minutos, los cuales inician 5 minutos posteriores a la aplicación de USC. Teniendo una ventana eficaz de tratamiento de 5 a 10 minutos de efecto terapéutico, posteriores a la aplicación.

Con ello se demuestra la efectividad del ultrasonido continuo terapéutico, además de comprobarse la hipótesis de trabajo: “Existe un efecto térmico del ultrasonido continuo a 3 MHz aplicado al músculo gastrocnemio a través de termografía”; y la hipótesis alterna: “El ultrasonido continuo a 3 MHz aplicado al músculo gastrocnemio genera un efecto térmico mayor a 5 minutos a través de termografía”.

IX. Conclusiones

El ultrasonido terapéutico es una de las herramientas más utilizadas en la fisioterapia, sin embargo, existe mucha controversia de su acción y eficacia en el tratamiento. Implementar un protocolo sobre su efecto térmico y cuánto dura fue de notable beneficio, ya que, se abre una pauta de su correcto uso, modo de aplicación y, sobre todo, en qué momento combinarlo con otras técnicas terapéuticas.

La clave para obtener los beneficios de este agente físico, es su adecuado uso y dosificación. Los puntos a seguir para lo anterior mencionado es: 1) Determinar el área de aplicación, el cual debe ir relacionado al tamaño del cabezal del ultrasonido; 2) El tiempo que debe recorrer el cabezal cuando va de un punto a otro de ser rítmico y no rápido, además de elegir la técnica de pases; 3) La cantidad de gel aplicado influye significativamente en el periodo de decremento de temperatura que aparece posterior a la aplicación del USC, es por eso que determinamos una cantidad específica de 2 mililitros de gel; 4) La dosificación de ser específica e individualizada.

En este estudio se da un inicio indispensable de que una buena dosificación con menor tiempo de aplicación puede generar los mismos efectos térmicos sin necesidad de llevar el tratamiento a tiempos excesivos. Dando una pauta a los criterios de dosificación específicos para el tejido muscular.

Ya que la eficacia del tratamiento no depende de una sola técnica o agente físico, se toma en consideración que los efectos del USC son mejor aprovechados y potencializados al mezclarse con otras técnicas terapéuticas. Una de ellas es el ejercicio terapéutico, el cual puede ayudarse de los efectos térmicos, aprovechando los efectos fisiológicos y tisulares producidos en el cuerpo. Por otro lado, la terapia manual y el trabajo de elasticidad posterior al ultrasonido tiene una mejor eficacia y eficiencia, tal como se ha mencionado en diversos protocolos de investigación. Sin embargo, la toma de decisiones en cuanto la combinación de técnicas o su uso exclusivo depende del criterio de cada profesional y de los objetivos específicos del plan de tratamiento establecidos.

Por otro lado, la termografía impulsa una nueva herramienta de imagen que puede ser utilizada por el fisioterapeuta para el proceso de diagnóstico o para verificar la efectividad de algunos tratamientos. El termograma permite identificar los puntos más calientes del objeto, el valor exacto de la temperatura de cada uno de ellos y verifica la uniformidad de la temperatura por medio de una paleta de colores. Además, se comprueba su efectividad en protocolos de investigación con agentes físicos y se destaca por ser un método no invasivo sin riesgo para la salud e integridad del paciente.

Dirección General de Bibliotecas de la UFG

IX. Propuestas

- 1] Realizar una guía específica de la forma de aplicación del ultrasonido, tomando en cuenta la zona y forma de aplicación, cantidad de gel utilizado, tiempo de traslado del cabezal, etc. Todo lo anterior con el fin de estandarizar la aplicación y obtener de una manera adecuada los efectos terapéuticos del USC.
- 2] Realizar pruebas con diferentes conductores, con el fin de investigar la influencia del gel sobre el periodo de enfriamiento tras la aplicación de USC.
- 3] Realizar el estudio en otro músculo superficial para saber si los datos obtenidos pueden replicarse en cualquier músculo.
- 4] Utilizar dosis diferentes para comparar el aumento de temperatura.
- 5] Aplicar el USC con una frecuencia de 1 MHz para comparar el comportamiento del efecto térmico.
- 6] Aplicar el protocolo realizado, en un tejido muscular lesionado para verificar su eficacia en el tratamiento.

X. Bibliografía

Albornoz Cabello, M., Maya Martín, J., & Toledo Marhuenda, J. V. (2016). *Electroterapia Práctica Avances en Investigación Clínica*. Elsevier.

Alvarado Castillo, E. G., & Villaseñor Morales, C. (2018). Análisis de estrés térmico en líneas de media baja de tensión. *Verano de la Investigación Científica*, 4(1).

Cameron, M. (2014). *Agentes físicos en rehabilitación de la investigación a la práctica*. (4th ed.). Elsevier.

Draper, D. O., Castel, J. C., & Castel, D. (1995, Octubre 1). Rate of temperature increase in human muscle during 1 MHz and 3 MHz continuous ultrasound. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 22(4), 142-150. 10.2519/jospt.1995.22.4.142.

Draper, D. O., Schulthies, S., Sorvisto, P., & Hautala, A. M. (1995, Marzo). Temperature Changes in Deep Muscles of Humans During Ice and Ultrasound Therapies: An In Vivo Study. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 21(3), 153-7. 10.2519/jospt.1995.21.3.153

Domínguez, E., Salazar, E., Gómez, E., & de Córdona, M. J. (2015). *Neuro termografía y termografía psicósomática*. Fundación Internacional Artecittà.

E.L. Pencue Fierro, D. B. (2015). Análisis de termografías infrarrojas dinámicas mediante técnicas de procesamiento de imágenes. *Ciencia en desarrollo*, 6(1), 127- 132.

Gallo, J. A., Draper, D. O., Brody, L. T., & Fellingham, G. W. (2004, Julio). A Comparison of Human Muscle Temperature Increases During 3-MHz Continuous and Pulsed Ultrasound With Equivalent Temporal Average Intensities. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 34(7), 395-401. 10.2519/jospt.2004.34.7.395

Gutiérrez Vargas, R., Ugalde Ramírez, J. A., Rojas Valverde, D., Salas Cabrera, J., Rodríguez Montero, A., & Gutiérrez Vargas, J. C. (2017, Diciembre 05). La termografía infrarroja como herramienta efectiva para detectar áreas musculares dañadas después de

correr una maratón. Facultad de Medicina, 65(4), 601-7.
<http://dx.doi.org/10.15446/revfacmed.v65n4.60638>.

Hauck, M., Martinis, C. N., Moraes, M. B., Aikawa, P. (2019). Comparación de los efectos del ultrasonido terapéutico de 1 MHz y 3 MHz sobre la vasodilatación endotelio de humanos: un ensayo aleatorizado". *Physiotherapy*, 120-125.

Johns LD, Straub SJ, LeDet EG. Ultrasound beam profiling: comparative analysis of 4 new ultrasound heads at both 1 and 3.3 MHz shows variability within a manufacturer. *J Athl Train*. 2004;39 (2 Suppl):S-26.

Kawakami S, Higuchi Y, Suzuki R, Maruyama K, Yamashita F, Hashida M. Involvement of activated transcriptional process in efficient gene transfection using unmodified and mannose-modified bubble lipoplexes with ultrasound exposure. *J Control Release* 2011;156:355-63.

Knight, K. L., & Draper, D. O. (2013). *Therapeutic Modalities The Art and Science* (2nd ed.). Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer business.

Lehmann JF, Masock AJ, Warren CG, Koblanski JN. Effect of therapeutic temperaturas on tendon extensibility. *Arch Phys Med Rehabil* 1970; 51:481-7.

Lehmann ED, Hopkins KD, Gosling RG. Aortic Compliance Measurements using Doppler Ultrasound: In Vivo Biochemical Correlates. *Ultrasound Med Biol* 2003;19(9):683-710.

Marins, J., Fernández Cuevas, I., Amaiz Lastras, J., Fernandes, A., & Sillero Quintana, M. (2015, Diciembre). Aplicaciones de la termografía infrarroja en el deporte. Una revisión. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, 15(60), 805-824.

Melgosa S. (2011) *Guía de la Termografía Infrarroja*. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid.

Michlovitz, S. L., Bellew, J. W., & Nolan Jr., T. P. (2012). *Modalities for Therapeutic Intervention* (5th ed.). F.A. Davis Company.

Morales Ríos, M., Meedina Chacón, E., Carnevali Fernández, A., & Orozco Guillén, E. (2011). TERMOGRAFÍA INFRARROJA Y EL ESTUDIO DE RIESGOS DE LESIONES MÚSCULO ESQUELÉTICAS. *Ingeniería Industrial*, 10(1), 55-67.

Noble JG, Lee V, Griffith-Noble F. Therapeutic ultrasound: the effects upon cutaneous blood flow in humans. *Ultrasound Med Biol* 2007;33: 279-85.

Olarte C., W., Botero A., M., & Cañón Zabaleta, B. (2011). Aplicación de la termografía en el mantenimiento predictivo. *Scientia Et Technica*, 2(48), 253 - 256. 10.22517/23447214.1303

Rajmanova, P., & Nudzikova, P. (2015). Application and Technology of Thermal Image Camera in Medicine. *IFAC*, 48(4), 492-497. 10.1016/j.ifacol.2015.07.083

Rimington,, S. J., Draper, D. O., Durrant, E., & Fellingham,, G. (1994, Diciembre 29). Temperature Changes During Therapeutic Ultrasound in the Precooled Human Gastrocnemius Muscle. *Journal of Athletic Training*, 29(4), 325-327.

Rioja Toro, J., Estévez Pay, P.J. (2011, Diciembre 14). Valoración con termografía infrarroja, de la capacidad vasodilatadora de las diferentes corrientes analgésicas y factores implicados. *Rehabilitación*, 46(1), 7-14. 10.1016/j.rh.2011.12.003

Starkey, C. (2013). *Therapeutic Modalities* (4th ed.). F.A. Davis.

Stephanie J. Rimington, O.Draper, D., EarleneDurrant, Fellingham, G. (1994). Cambios de temperatura durante el ultrasonido terapéutico del músculo humano preenfriado. *Journal of Athletic Training*, 325-327.

Pita, M. J. (2015). *Teoría y Problemas de Transmisión de Calor*. UNED.

XI. Anexos

X1.1 Hoja de recolección de datos

Tabla 7. Recolección de temperaturas por etapas, de cada sujeto, en D1.

Sujeto	Dosificación 1 3 MHz, 1 W/cm ² , 5 minutos				
	1	2	3	4	5
1	31.4	26.7	29.9	30.3	30.4
2	29.7	24.4	27.4	28.2	28.7
3	28.7	23.9	27.2	28.3	28.5
4	31.6	26.3	29.3	29.9	30.1
5	32.1	27.2	30.1	30.8	31.1
6	31.4	26.6	29	29.9	30.3
7	30.2	24.9	27.9	28.5	28.7
8	32.2	26.1	29.1	30.4	30.7
9	29.8	25.7	28.1	28.5	28.8
10	29.6	25.3	27.4	28.2	28.3
11	30.3	27.6	28.9	28.9	29.1
12	33	29.5	31	31.6	31.6
13	30.9	26.7	28.8	29.6	29.7
14	29.9	25.7	28.5	29.1	29.1
15	31.9	28.6	30.5	30.5	30.6

Tabla 8. Recolección de temperaturas por etapas, de cada sujeto, en D2

Sujeto	Dosificación 1 3 MHz, 0.5 W/cm ² , 10 minutos				
	1	2	3	4	5
1	30.6	27.8	29	29.5	29.9
2	29.6	22	26	28	28.4
3	30.3	23.7	26.5	27.4	27.6
4	29.8	24.7	28	29	29.1
5	31	27.1	28.5	29.2	29.2
6	32	27.6	29.5	29.6	29.9
7	33.5	28.7	29.4	30.7	31
8	31.4	28.2	29.9	30.4	30.5
9	32.8	28.5	30.5	30.9	30.7
10	31	24.4	27.6	28.5	29
11	30.8	28	29.3	29.8	30.1
12	30.4	27.3	28.8	28.8	28.9
13	30.3	27.4	29.3	29.8	29.8
14	29.8	25.3	27.6	29	29.4
15	31	27.6	29.3	29.5	29.9

XI.2 Instrumentos

Fig. 7. Ultrasonido terapéutico BTL-5000
SWT POWER.



Fig. 8. Software de análisis.



Fig. 9. Cámara termográfica FLIR A310.



XI.3 Carta de consentimiento informado

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Santiago de Querétaro a _____ del mes de _____ del año _____.

Se suscribe a: _____ de _____ años de edad, como participante del Protocolo de Investigación: Duración del efecto térmico a corto plazo del ultrasonido continuo a 3 MHz aplicado al músculo gastrocnemio a través de termografía.

El cual tiene como objetivo principal cuantificar el efecto térmico del US continuo a través de termografía. Ya que surge la necesidad de realizar estudios bien diseñados que permitan conocer dicho efecto, con la finalidad de justificar la aplicación del ultrasonido en lesiones específicas y además determinar la seguridad, la precisión y el pronóstico del tratamiento para la mejora del estado actual del paciente.

El protocolo consiste en la toma de 5 fotografías, en diferentes intervalos de tiempo tras la aplicación de US continuo; capturado con una cámara termográfica sobre el músculo gastrocnemio de la pierna izquierda.

De la misma forma, se informa que no existe ningún riesgo de daño tisular por la aplicación de ultrasonido o, por la toma de fotografías con la cámara termográfica; sin embargo, es posible presentar alguno los siguientes síntomas: dolor, picazón, irritación o incomodidad durante el tratamiento. En caso de presentar cualquiera de los síntomas antes mencionados, se procederá a la suspensión del tratamiento.

Autorizo el uso de la información recabada, siempre y cuando sea anónima, y solo en beneficio del fomento y desarrollo de la investigación en el campo de la salud y la fisioterapia. Con base a lo antes

mencionado, manifiesto que estoy satisfecho (a) con la información recibida y que comprendo en su totalidad el alcance terapéutico y los riesgos del tratamiento que serán implementados.

Decido, dar mi conformidad libre, voluntaria y consciente para la autorización de la intervención del protocolo, dentro de las instalaciones de la Licenciatura de Fisioterapia, Universidad Autónoma de Querétaro y, bajo las condiciones antes mencionadas.

Nombre y Firma del participante.

Nombre y firma de los investigadores.

Nombre y Firma del testigo.

En caso de dudas o aclaraciones relacionadas con el estudio deberá dirigirse con:

Investigadores: EFT. Martínez Aguilar Violeta, EFT. Chávez González Teresa Montserrat.

Director de la investigación: M.A. Arely G. Hernández Morales.