

INFORME TÉCNICO DEL PROYECTO

Cod ACHS 205-2017

Estudio descriptivo del fenómeno de hipotermia y su relación con la circulación periférica como factor de riesgo de Osteonecrosis Disbárica en trabajadores buzos de salmonicultura en la región de Los Lagos.

Equipo de investigación:

Dra Tania Capote González

MSc Ruth Novoa Fischer

MSc Nicolás BerghContardo

Lic Milton Magnere Valenzuela

Este trabajo fue seleccionado en la Convocatoria de Proyectos de Investigación e Innovación en Prevención de Accidentes y Enfermedades Profesionales 2017 de la Superintendencia de Seguridad Social (Chile) y fue financiado por la Asociación Chilena de Seguridad, a través de la Fundación Científica y Tecnológica (FUCYT-ACHS), con recursos del Seguro Social de la Ley N°16.744 de Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales.

Índice

INFORME TÉCNICO DEL PROYECTO 205-2017	1
Índice	2
Resumen	3
Introducción	4
Marcoteórico	9
• Condiciones ambientales submarinas.....	8
• Ambiente térmico y pérdida de calor.....	9
• Temperatura corporal y su regulación	11
• Hipotermia	12
• Medición de temperatura corporal	13
• Termografía	16
• Ecografía	17
• Osteonecrosis Disbárica	20
• Elementos de protección personal utilizados en buceo	20
• Antecedentes técnicos en protocolo de estudio.....	21
Objetivos de la investigación e hipótesis	24
• Objetivo General.....	214
• Objetivos específicos	214
Metodología	25
• Colaboración académica y entrenamiento en uso de herramientas tecnológicas médicas	25
• Desarrollo de protocolos de monitoreo	26
• Evaluación de bioética	26
• Método estadístico de análisis de la información	26
• Etapa experimental	26
• Descripción de condiciones de higiene laboral en buceo de salmonicultura.....	27
• Protocolo de estudio	28
• Análisis estadístico	37
• Análisis de datos	39
Resultados	40
Discusión	44
Conclusión	48
Bibliografía	49

Resumen

Uno de los mecanismos esperados ante la fisiopatología de la hipotermia es la vasoconstricción arterial, un fenómeno hipotérmicamente activado que reduce el intercambio de energía calórica transportado por la sangre entre el centro del cuerpo y las extremidades con objetivo de mantener la temperatura corporal. Como resultado del estrés térmico pueden surgir consecuencias no deseadas en el cuerpo, como problemas en la irrigación de órganos y tejidos, reducción de la eliminación de nitrógeno residual, producto de la condición hiperbárica del buceo con aire comprimido en salmonicultura, potencialmente desencadenando desequilibrios que son potencial factor de riesgo para Osteonecrosis Disbárica en el trabajador.

Mediante el desarrollo de protocolos específicos de monitoreo ecográfico y termográfico para su implementación en centros de producción de salmonicultura, el presente estudio describió la respuesta fisiológica de vasoconstricción arterial e intentó mediante termografía describir cambios térmicos en los trabajadores expuestos a hiperbaria e hipotermia en buceo laboral. Las actividades se realizaron en los centros de cultivo Abtao, Pilolcura, Pelada, Llaguepe, Teuquelin, Chelin y Huyar.

Las evaluaciones termográficas y de medición de temperatura óptica no presentaron cambios significativos. Mediante el estudio ecográfico del sistema circulatorio arterial periférico, el análisis de los resultados sugieren cambios en tamaños de lúmenes arteriales y variaciones en las velocidades de irrigación de las extremidades, pero sin determinar diferencias estadísticamente significativas respecto de la exposición a las condiciones actuales.

Respecto de las condiciones de higiene laboral, se detectó que existen diversas actividades realizadas por los trabajadores buzos que realizan esfuerzos físicos distintos, que mediante el protocolo de evaluación ecográfica se observa que en actividades de mayor esfuerzo se presentaron distintos patrones de circulación periférica. En general los resultados sugieren que no existe diferencias significativas producto de la exposición a las condiciones laborales presentadas en estos centros productivos, según el protocolo de trabajo de buceo implementado con tiempos de exposición nunca superior a los 25 minutos, esto pese a que es posible observar que los trabajadores presentan reducción en los diámetros de arterias y cambios en las velocidades de irrigación sanguínea, las diferencias apreciadas no son significativas.

Como resultado de este estudio, se propone evaluar a través de un estudio detallado, la determinación de los esfuerzos que se realizan en cada labor específica de los buzos y así, determinar mediante esta segmentación en las distintas actividades subacuáticas los potenciales factores de riesgo de Osteonecrosis Disbárica en trabajadores buzos de salmonicultura.

Introducción

En Chile, las actividades de buceo para acuicultura son realizadas por buzos profesionales acreditados por la Armada de Chile, para trabajar con licencias de buceo profesional de: Buzo mariscador, Buzo mariscador/intermedio, Buzo Especialista, y Buzo comercial, las que tienen por definición diferentes actividades permitidas y límites progresivos en la profundidad de trabajo.

Marco normativo.

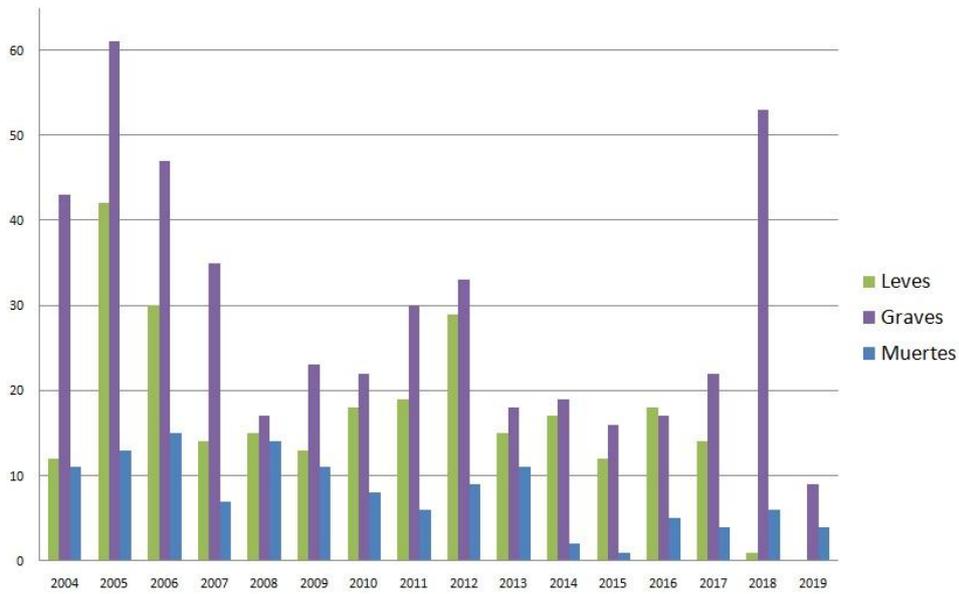
La reglamentación vigente establecida por el Ministerio de Defensa Nacional mediante el Decreto 752 del 8 de septiembre de 1982 entrega las directrices para la realización de faenas de buceo dentro del territorio nacional. Estas regulaciones determinan según las actividades que se realizará cuáles son los equipos y matrículas de quienes estarán autorizados para realizar dichas tareas.

Buceo en Salmonicultura.

Es una actividad fundamental en el día a día de los centros de cultivo, tanto los de smoltificación en zonas de agua estuario y en centros de engorda en mar, eslabones fundamentales en la producción de salmones a nivel nacional y los cuales se realizan desde el Seno del Reloncaví en la región de Los Lagos, por todos los canales y fiordos interiores hasta Magallanes. Para esta actividad laboral, SUSESO ha levantado información mediante el Estudio Observacional de Buzos Dedicados a la Acuicultura¹; estudio de 4 años plazo el cual ha presentado resultados que describen las malas condiciones de higiene laboral, donde esta población de trabajadores está diariamente sometida a tensiones y fuerzas de trabajo altamente demandantes que puede afectar a sus funciones laborales y sociales. Además en siniestrabilidad, principalmente podemos referirnos a las estadísticas que presenta la Armada de Chile a través de DIRECTEMAR en los Gráficos 1, 2 y 3, durante los últimos 14 años se han presentado accidentes Leves, Graves y Fatales, donde las incidencias no siguen un patrón definido, y no se presenta una pendiente de decrecimiento de accidentabilidad, de lo que se deduce la ineficacia de las implementaciones desarrolladas para reducir la accidentabilidad o la ineficiencia de los Equipos de protección personal (EPP) en proteger a los trabajadores.

¹Estudio observacional de buzos dedicados a la Acuicultura, año 2016. Centro de Estudios de Sistemas Sociales, SUSESO 2017.

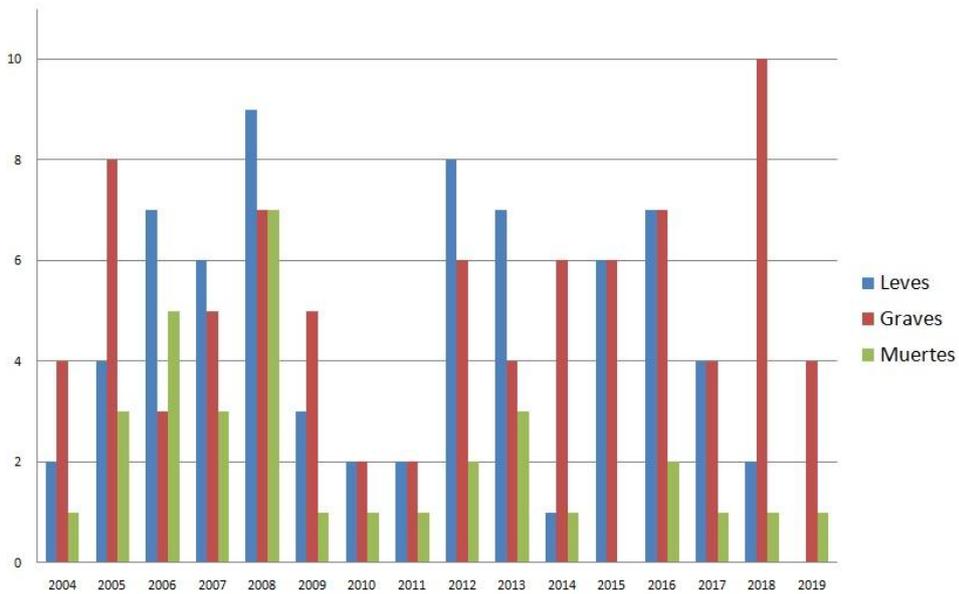
Accidentes de buceo por Gravedad en Chile



Directemar.cl Mayo 2019

Gráfico 1. Accidentes de buceo por gravedad en Chile

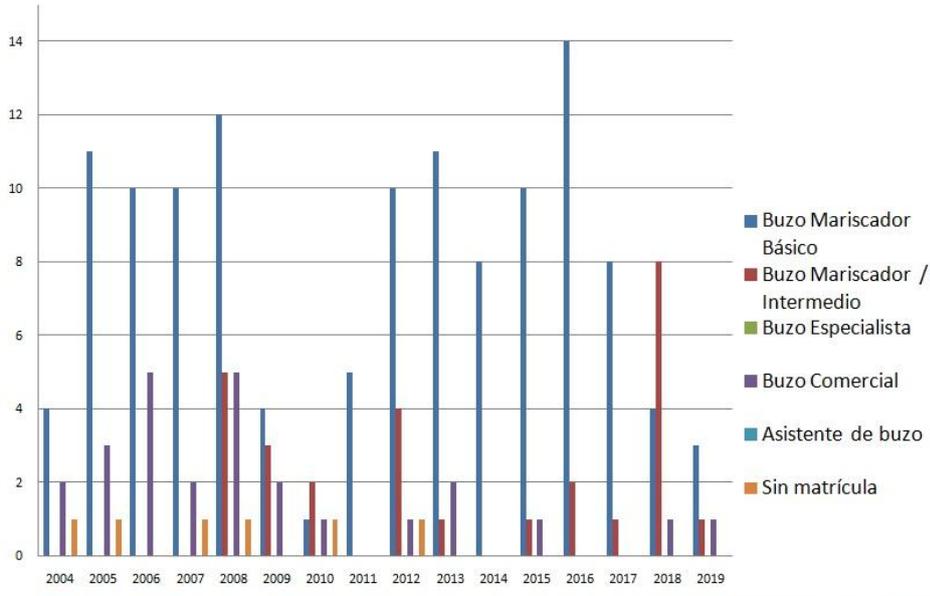
Accidentes de buceo por Gravedad en Salmonicultura



Directemar.cl mayo 2019

Gráfico 2. Accidentes de buceo por gravedad en Salmonicultura.

Accidentes de buceo por matrícula en Salmonicultura



Directemar.cl mayo 2019

Gráfico 3. Accidentes de buceo por matrícula en Salmonicultura

Planteamiento del problema: Enfermedades derivadas del trabajo en actividades de Buceo en Salmonicultura

Según un informe de la cámara de diputados del 2006², más del 87% de los buzos que trabajan en la industria del salmón sufre problemas de descompresión.

Las enfermedades descompresivas se clasifican medicamente como:

1. ED leve o tipo I: manifestaciones Musculo-esqueléticas, Cutáneas, otras.
2. ED grave o tipo II: manifestaciones Neurológicas, Respiratorias, Afectación vestibular, otras.
3. ED crónica: Osteonecrosis Disbárica

. Asimismo, se señala que existe una alta sub-declaración de accidentabilidad en esta área, pues sólo el 35% de los casos son puestos en conocimiento de las autoridades. Se han descrito dos principales grupos de enfermedades asociadas a trabajadores del buceo, estas son: patologías microbiológicas, patologías debidas a cambios de presión y/o mezcla de gases y Enfermedades Profesionales; de estas últimas destacamos **Osteonecrosis disbárica**.

Higiene Laboral en las regiones salmonicultoras

Los riesgos en la actividad de buceo son múltiples, tanto como los riesgos térmicos dado por las condiciones del mar en todo Chile, riesgos debido a buceos en aguas contaminadas por agentes químicos, biológicos, metales pesados e incluso radiaciones ionizantes, así también como riesgos dados por el aumento de la presión ambiental.

Las condiciones térmicas en las cuales se desarrollan las actividades de buceo en salmonicultura oscilan entre 7°C en invierno y 24°C³, la actual normativa determina que la protección del cuerpo de los trabajadores se realiza mediante Traje de Buceo Húmedo, que es un elemento de protección de vital importancia, ya que principalmente proporciona aislación térmica necesaria para poder realizar sus tareas cuando el trabajador está expuesto a bajas temperaturas. La recomendación general por parte del Instituto de Salud Pública, relaciona el rango de temperatura con el tipo de tecnología en vestimenta que se debe usar, principalmente apuntando a proteger a los trabajadores de las bajas temperaturas en las cuales ejecutan sus labores.

La temperatura del ser humano, siendo homeotermo, es capaz de constantemente realizar cambios fisiológicos que permitan mantener la temperatura central mediante autorregulación, manteniendo la temperatura central en rangos de operación normales. Existen dos fuentes principales de generación de calor, una es mediante el metabolismo asociado al proceso de digestión, y el otro es la contracción muscular durante el ejercicio.

Uno de los mecanismos esperados ante la fisiopatología de la hipotermia es la vasoconstricción arterial. Este fenómeno, producto de la pérdida de calor en el cuerpo humano es responsable de la reducción del calibre del vaso, evitando la pérdida de energía calórica

² Informe comisión de pesca, acuicultura e intereses marítimos. Cámara de diputados de Chile, Sergio Malagamba, Abogado Secretario de la Comisión. 2006.

³Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA). 2017.

del cuerpo con el medio, con el objetivo de mantener la temperatura corporal. Sin embargo, esto puede traer consecuencias no deseadas en el cuerpo, como lo son problemas de irrigación de órganos, potencialmente desencadenando desequilibrios que pudiesen tener consecuencias en la salud del trabajador.

Además en la piel, la dermis contiene una red de capilares con un rango entre 3 y 10 μm de diámetro. El estrato basal es una interfase entre la dermis y la epidermis que permite a los capilares acercarse lo suficiente a la superficie de la epidermis (1 a 2 mm bajo de esta) para realizar la transferencia de calor entre estos y la epidermis, así consecuentemente ésta difunde con el medio ambiente. Los vasos de la dermis pueden tanto generar una constricción o una dilatación para regular el flujo sanguíneo, que regulan a su vez el volumen de intercambio calórico con el ambiente.

El buceo en la salmonicultura es considerado una de las actividades más exigentes y riesgosa, dado que se desarrollan diferentes funciones, tales como: instalación de jaulas que alcanzan alrededor de 12 toneladas cada una; instalación, recambio y mantención de redes de cultivo de salmones y extracción de mortalidad, instalación de centros de cultivo, revisión y montaje de sistemas de fondeo y mallas loberas. Algunas de estas actividades implican que los buzos deben alcanzar profundidades de alrededor de 40 metros y realizar un esfuerzo físico considerable.⁴

⁴ Panorama Mensual Seguridad y Salud en el Trabajo. Volumen 1 n°4, Superintendencia de Seguridad Social, 2015.

Marco teórico

El entorno térmico extremo (de 7 a 24°C, SHOA 2017) expone a los trabajadores buzos a experimentar mayor estrés térmico debido a la incapacidad del Equipo de Protección Personal para mantener el calor del trabajador durante toda su actividad, una vez que el trabajador pierde calor, se altera sustancialmente el intercambio de gas inerte, favoreciendo la retención de este, comprometiendo su efectiva eliminación durante la emersión. Esto particularmente es de alto riesgo ya que la tecnología actual disponible, la programación del buceo y las computadoras de buceo, no relacionan la medición de la temperatura como un factor de corrección en el cálculo de los tiempos de descompresión (tanto del medio acuático como corporal), lo que potencialmente puede reducir el intercambio eficiente de gas inerte, aumentando así el riesgo en el proceso de descompresión.

Estudios previos han utilizado ecografía doppler para determinar reducción en la circulación producto de vasoconstricción y la presencia de burbujas en el torrente sanguíneo⁵. En condiciones de hipotermia la circulación de las extremidades se reduce drásticamente, lo que se ha visualizado en manos que fueron bien perfundidas al inicio de la inmersión y al final del buceo han reducido su temperatura; no alcanzando una perfusión adecuada, con lo cual los gases inertes acumulados en la fase de normotermia no pueden ser eliminados desde los tejidos de las extremidades del cuerpo a la sangre, y luego a los pulmones, restringiendo la capacidad efectiva de eliminación. Otra metodología no invasiva para la evaluación de las condiciones de higiene laboral es la termografía infrarroja (TIR). Se utiliza para el diagnóstico, monitoreo y determinación de la efectividad del tratamiento en estudios de la función fisiológica normal y la determinación de disfunciones de irrigación. La distribución del calor a nivel de la piel es un indicador de la presencia de tumores, inflamaciones, infecciones u otras disfunciones fisiológicas.⁶

En comparación con el riesgo de osteonecrosis disbárica en población general, este ha sido 10 veces mayor en buzos de la marina, y 100 veces mayor en pescadores⁷, a su vez, el riesgo se incrementa dependiendo de los procedimientos de seguridad utilizados durante la descompresión.

Condiciones ambientales submarinas

Cuando un buzo se sumerge en el agua, su ambiente experimenta una serie de cambios que se acentúan a medida que aumenta su profundidad⁸:

Absorción del espectro solar: Debido al agua, la materia orgánica disuelta y el material particulado del medio marino se produce la absorción parcial de la luz incidente, siendo esta mayor para fotones con longitudes de onda sobre los 550 nm⁹. Esto se traduce en una pérdida

⁵Pollok, NW. Thermal stress and diver protection, 2014.

⁶ Jones, B.F. A reappraisal of the use of infrared thermal image analysis in medicine. IEEE Transactionson medical imagin. Vol 17, N°6. Diciembre 1998.

⁷ Panorama mensual Seguridad y Salud en el trabajo. Vol 1, n°4, SUSES0. Julio 2015

⁸ Mauricio J, Ariel N. Instituto de Salud Pública de Chile, Guía Técnica de EPP: Elementos de protección personal utilizados en labores de buceo. 2016, Versión 1.0. [citado el 27 de nov, 2017]

⁹Absorción de luz en el medio acuático. Instituto de Tecnologías educativas (ITE). Temas de Ecología [Internet]. 2017. https://jfferrer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion02/61_absorcin_de_luz_en_el_medio_acutico.html

selectiva de colores y luminosidad donde prevalecen los tonos azules que son de menor longitud de onda.

Cambios en la refracción de la luz: Debido a la adaptación del ojo humano para ver a través de un medio aéreo, al encontrarse en un ambiente acuático donde los fotones viajan de una forma distinta sufre de la distorsión de su visión, percibiendo los objetos a una distancia menor de la real. Al utilizar máscaras de buceo e interponer una capa de aire entre los ojos y el medio se corrige esta condición.

Aumento de la velocidad del sonido: En el mar, las ondas sonoras viajan a aproximadamente 1.500 metros por segundo dependiendo de algunas características del medio como temperatura, composición y presión¹⁰. Esta diferencia con la velocidad en el aire (unos 340 m/s) dificulta la orientación del buzo por estímulos auditivos.

Aumento de la densidad: Una mayor densidad del medio produce una mayor resistencia al movimiento del buzo, por lo que las acciones se dificultan, además existe una variación de la flotabilidad (ya que esta depende de las densidades del objeto y su medio) produciéndose una sensación de ingravidez.

Disminución de la temperatura: En Chile, el agua de mar se encuentra a una temperatura superficial que varía entre los 10 y 24°C, la cual desciende considerablemente a medida que aumenta la profundidad.

Aumento de la presión ambiental: Debido a la mayor densidad del agua, la presión atmosférica aumenta en una proporción mayor a medida que se aumenta la profundidad. Teniendo consecuencias en todo el organismo.

Ambiente térmico y pérdida de calor

La interacción térmica con el ambiente comienza justo en la superficie de la piel y depende principalmente del gradiente térmico que existe entre el interior del cuerpo (*coreo núcleo*) y el medio ambiente. Se le llama ambiente térmico al conjunto de características térmicas del ambiente en que se desenvuelve un sujeto, sumadas a las variables personales como vestimenta y metabolismo.

Dentro de las variables que definen el ambiente térmico externo encontramos:

- La temperatura ambiental (en °C) que es la del medio líquido, gaseoso o mixto que rodea al cuerpo.
- La temperatura de punto de rocío, correspondiente a la primera t° a la cual una mezcla de aire y vapor de agua se condensa al enfriar a presión constante.
- El movimiento del fluido producto de la ventilación forzada del ambiente, de la actividad del objeto y el movimiento libre causado por un cuerpo tibio en un medio gaseoso frío.

¹⁰ Propagación del sonido en el mar [Internet]. Biblioteca Digital Mexicana (BDMx). 2017. [citado el 23 de nov, 2017]. Disponible en: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/17/htm/sec_8.html

- La temperatura radiante media, que corresponde a la temperatura de los objetos que rodean a un cuerpo y que pueden afectar su pérdida o ganancia de calor mediante el intercambio de radiaciones térmicas.
- El aislamiento de la vestimenta medido en I_{clo} , unidad que equivale a una resistencia térmica de $0,1547m^2 * °C * W^{-1}$.
- La presión barométrica medida en kPa que influye en la transferencia calórica en un medio de aire-vapor de agua por convección y evaporación.

La pérdida de calor del buzo ocurre desde sus órganos internos y es depositado en su ambiente a través de la piel y el traje. En la Fig.1. se esquematiza la transferencia de calor al medio acuático a través de las capas de un traje húmedo. Los mecanismos por los que el ser humano transmite calor a su ambiente son radiación, convección, conducción, respiración y evaporación. Abajo se explican estos mecanismos además de presentar las aproximaciones biofísicas para calcular sus magnitudes de transferencia calórica.

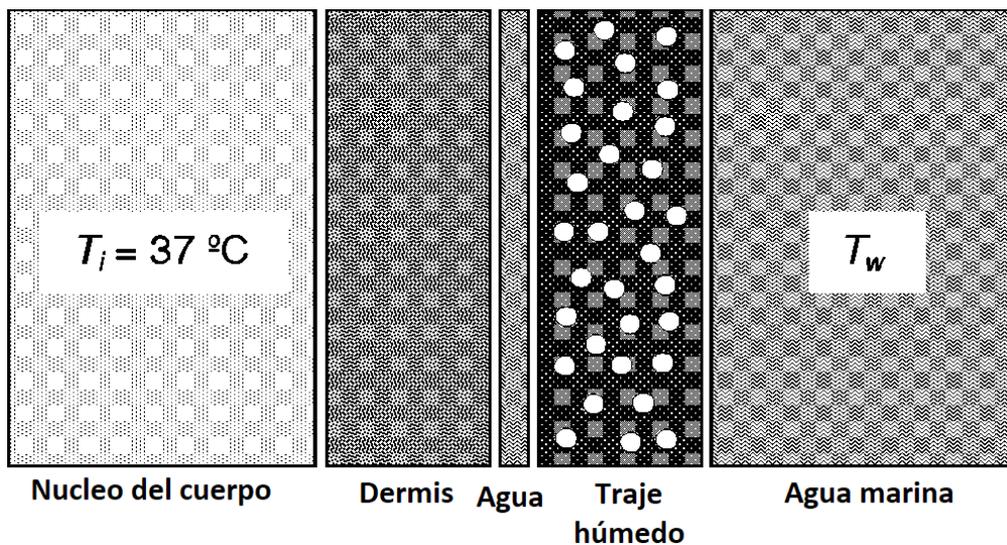


FIGURA 1 Esquema de transferencia calórica a través de un traje húmedo de buceo

Conducción

Consiste en la transferencia de energía a través de dos elementos en contacto, como ocurre entre la piel y el traje. La ley de Fourier para sólidos describe la transferencia de calor por conducción de la forma:

$$q = kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \text{(Eq. 1)}^{11}$$

donde q es el flujo de calor, k la conductividad térmica, Δx el grosor de un bloque de área A y ΔT la diferencia de temperatura.

Convección

Corresponde a la disipación de calor por un medio en movimiento, es el mecanismo por el que los órganos internos pierden calor. La sangre es la encargada de absorber el exceso de calor generado al interior del cuerpo y llevarlo hacia la periferia, donde a través de la piel, depositará su energía en el ambiente. Otra forma de pérdida de calor por convección es la respiración, donde ingresa aire frío a la trama bronquial, absorbe calor, y luego es espirada, abandonando

el cuerpo con una mayor temperatura. Su magnitud depende de múltiples factores como el esfuerzo metabólico, el ritmo cardíaco y respiratorio y la presión de vapor. La ley de enfriamiento de Newton describe la transferencia por convección de la forma:

$$q = hA\Delta T(\text{Eq. 2})^{11},$$

donde h es el coeficiente de transporte de calor.

Radiación

Es el principal mecanismo de pérdida de calor de una persona descubierta en reposo, pero su contribución disminuye al tratarse de una persona vestida en movimiento. Consiste en la pérdida de energía a través de la emisión de luz infrarroja. La ley de Stefan-Boltzmann para la transferencia radiativa indica:

$$q = A\varepsilon\sigma(T_{in}^4 - T_{out}^4)(\text{Eq. 3})^{12}$$

donde es T_{in} la T° del objeto y T_{out} la del ambiente, σ la constante Stefan-Boltzmann y ε la emisividad de la superficie de área A .

Evaporación

La evaporación de una molécula consiste en su paso gradual del estado líquido a uno gaseoso al adquirir energía suficiente para vencer la tensión superficial del conglomerado molecular en que se encuentra. En el cuerpo humano la evaporación del sudor juega un rol preponderante en la mantención de la temperatura corporal cuando existe un aumento en la temperatura ambiental¹². Las gotas de sudor en la superficie de la piel absorben parte del calor que en esta excede, evaporándose, y enfriando su superficie.

Temperatura y su regulación

La temperatura se define como la medida del calor que posee un cuerpo. El ser humano, siendo un homeotermo, es capaz de mantener constante la temperatura del cuerpo, que es diferente de su ambiente; para esto realiza constantemente intercambios de temperatura con su entorno, como parte de un proceso de autorregulación manteniendo la temperatura central que necesita, proceso vital para mantener los diferentes sistemas funcionando de manera correcta¹³. En cuanto a los valores normales de temperatura, la temperatura Rectal es 0.6°C más alta que la oral (37°C) y más cercana a la temperatura del centro del cuerpo, esta permanece casi constante, con un margen $\pm 0.6^\circ\text{C}$, excepto en aquellos casos donde se produzca un cuadro de h́iper o hipotermia, siendo ambos at́ipicos. Una temperatura constante en el organismo se logra mediante la regulación de la pérdida con la ganancia de calor. La producción interna de calor es regulada con tal de que no se produzca un aumento excesivo de la temperatura (hipertermia) o disminución excesiva (hipotermia). Las dos principales fuentes de calor dentro del cuerpo humano son el metabolismo junto con el proceso de digestión, y la flexión de los músculos durante el ejercicio.

¹¹ Lévesque L. Law of cooling, heat conduction and Stefan-Boltzmann radiation laws fitted to experimental data for bones irradiated by CO2 laser. Biomedical Optics Express. 2014;5(3):701. [citado el 24 de nov, 2017]

¹² Havenith G, Bröde P, den Hartog E, Kuklane K, Holmér I, Wang X, et al. Evaporative cooling: effective latent heat of evaporation in relation to evaporation distance from the skin. Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985) [Internet]. 2013. [citado el 3 de dic, 2017]; 114(6): 778-785. Disponible en: MEDLINE Complete.

¹³ Lahiri B, Bagavathiappan S, Nishanthi K, Mohanalakshmi K, Veni L, Saumya et al. Infrared thermography based studies on the effect of age on localized cold stress induced thermoregulation in human. Infrared Physics & Technology. 2016; 76:592-602

Hipotermia

El ser humano es un organismo homeotermo que necesita mantener una temperatura corporal interna estable cercana a los 37°C para realizar correctamente sus funciones fisiológicas normales. Es posible separar en dos grupos los factores que influyen en la temperatura corporal: los factores exógenos como la temperatura ambiental y los endógenos como la producción de calor producto del metabolismo y la contracción muscular.

Entre el interior del cuerpo humano y el medio ambiente se encuentra la piel, la que entre otras funciones, actúa como un protector del organismo ante los cambios ambientales. La principal manera en que la esta responde ante cambios térmicos es mediante el aumento o disminución de su flujo sanguíneo, lo que resulta de vital importancia para el proceso de regulación térmica.

En condiciones ambientales normales, el cuerpo humano por si solo es capaz de mantener la temperatura relativamente estable, pero en condiciones donde la diferencia de temperatura entre él y su ambiente es muy alta, se hace necesario el uso de elementos adicionales de protección térmica. La condición especial en que hace énfasis es la de buceo laboral en aguas frías. Considerando que la temperatura del agua marina al sur de Chile suele ser muy baja (variando alrededor de los 10°C en superficie) y que el agua tiene una conductividad térmica hasta 26 veces mayor que el aire a la misma temperatura.

Cuando la temperatura central del cuerpo disminuye bajo los 35°C se conoce como hipotermia. Las bajas temperaturas causan alteración en las funciones de la membrana celular, salida de líquido intracelular, disfunción enzimática, desequilibrio de electrolitos (principalmente hiperkalemia) y una disminución del consumo de oxígeno en los tejidos. Esta última es producto del descenso del metabolismo a bajas temperaturas o por una mayor afinidad de la hemoglobina para el oxígeno, sumando la alteración de la extracción de oxígeno de los tejidos hipotérmicos¹⁴. La muerte de las células resulta del daño en la membrana, disfunción de proteínas, y cristalización de agua intra y extracelular. La hipotermia accidental primaria, ocurre cuando una persona sana es expuesta a condiciones ambientales de frío extremo como inmersión en agua helada.

Medición de temperatura corporal

Una certera medición de la temperatura corporal debe ser realizada en alguna cavidad, lo más cercana a alguna arteria mayor con un instrumento cuya medición no entregue un error mayor a 0,1°C¹⁵.

Las mediciones térmicas se pueden clasificadas en dos grandes grupos¹⁶:

¹⁴Polderman KH. Mechanisms of action, physiological effects, and complications of hypothermia. CritCareMed. 2009;37:186–202

¹⁵Fullbrook P. Core Temperature Measurement in Adults: A Literature Review. Journal of Advanced Nursing. 1993. [citado el 10 de oct, 2017]; 18(9): 1451-1460.

¹⁶Moran D, Mendal L. Core temperature measurement: methods and current insights. Sports Medicine (Auckland, N.Z.). 2002; 32(14): 879-885. [citado el 11 de oct, 2017]

- Invasivas: consisten en procedimientos en los que el cuerpo humano es penetrado con una aguja, una sonda, un dispositivo o un endoscopio. Entre ellas están los métodos rectal, esofágico, en arteria pulmonar y vejiga urinaria.
- No invasivas: se tratan métodos en los que solo existe un contacto de las herramientas con la superficie del cuerpo o cavidades de fácil acceso. Algunas mediciones no invasivas son la oral, axilar, en membrana timpánica y en superficie corporal.

Para la presente investigación se seleccionaron métodos de medición de temperatura no invasivas.

1. Medición de temperatura en membrana timpánica

La cara externa de la membrana timpánica es inervada por el nervio auriculotemporal y por un pequeño ramo auricular del nervio vago e irrigada por la arteria auricular profunda y una rama de la arteria maxilar. Su cara interna, obtiene la inervación del nervio glossofaríngeo y la irrigación de la rama estilomastoídea de la arteria auricular posterior y la rama timpánica de la arteria maxilar.

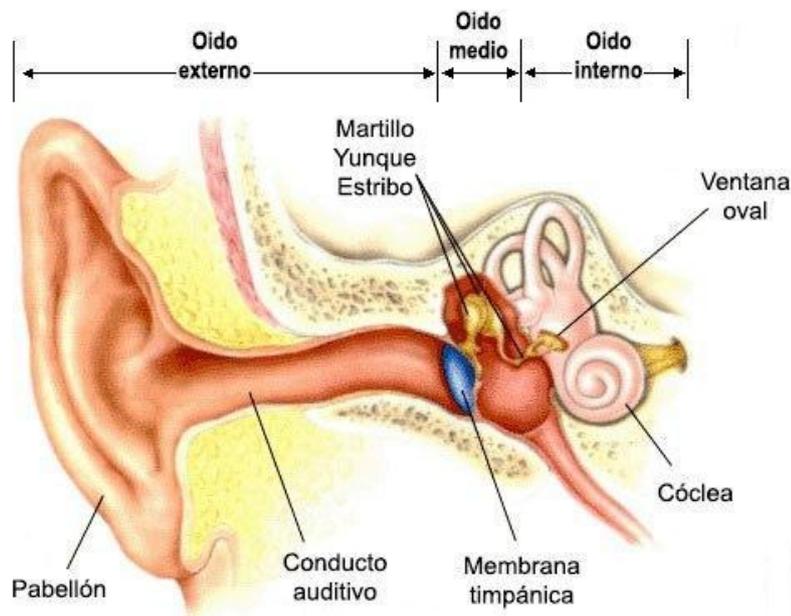


FIGURA 2. Ilustración representativa de la anatomía de las tres porciones del oído.

Debido a que comparte la irrigación de ramas carótídeas con el centro termorregulador (hipotálamo) y el canal auditivo es fácilmente accesible es considerado como un buen método de medición de temperatura, presentando además según algunos estudios²⁶⁻¹⁷ diferencias muy bajas con la temperatura medida en arteria pulmonar. La medición se puede realizar con sondas de termocupla o con termómetro infrarrojo. La primera posee sondas especiales de silicona que no dañan la membrana timpánica (ya que es necesario estar en contacto) y el último, que no debe entrar en contacto directo con la membrana timpánica, suele utilizar tapas desechables intercambiables en el extremo que se introduce por el canal auditivo.

¹⁷Hasper D, Nee J, Schefold J, Krueger A, Storm C. Tympanic temperature during therapeutic hypothermia. Emergency Medicine Journal: EMJ [Internet]. 2011, [citado el 30 de nov, 2017]; 28(6): 483-485. Disponible en: MEDLINE Complete.

2. Medición de temperatura de superficie corporal

La piel es el órgano que reviste casi la totalidad del cuerpo, entregando protección ante el medio, regulación térmica y sensibilidad. Bajo la dermis se extiende el tejido subcutáneo o hipodermis que cuenta con una red vascular importante, un plexo profundo de arterias anastomosantes que emite ramificaciones hacia la dermis, donde se forma otra red vascular, pero de menor calibre (estos vasos de menor diámetro son llamados “capilares”).

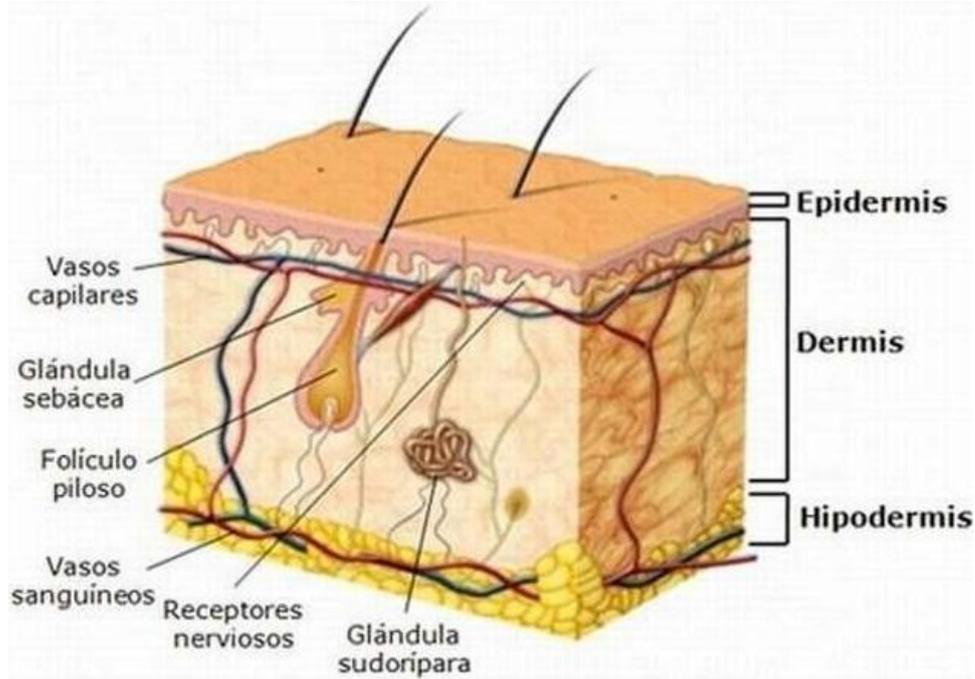


FIGURA 3. Ilustración representativa de las capas de la piel.

Para la medición de temperatura de la superficie de la piel, la termografía infrarroja es ampliamente utilizada en distintos ámbitos clínicos.¹⁸⁻¹⁹⁻²⁰⁻²¹ Existe una aproximación termográfica a la temperatura central que basa su estudio en la región del meato palpebral medial²². Pero esta también depende de la microcirculación en superficie de piel. La medición también puede ser realizada con termistores y termocuplas cableadas, pero estas presentan varias limitaciones, entre las que se encuentran la reducida área de medición, el enredamiento de cables, comodidad del sujeto, tiempos de respuesta, caída de los sensores por tracción de cables o falla del pegamento²³.

¹⁸ Heim G, Blohmke M, Bothmann G, Stof H. [Measurement of skin temperature in breast cancer--a new possibility of early diagnosis]. *MedizinischeKlinik* [Internet]. 1981. [citado el 1 de dic, 2017]; 76(4): 108-111. Disponible en: MEDLINE Complete.

¹⁹ Bruins A, Kistemaker K, Boom A, Klaessens J, Verdaasdonk R, Boer C. Thermographic skin temperature measurement compared with cold sensation in predicting the efficacy and distribution of epidural anesthesia. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*. 2017.

²⁰ Ludwig N, Trecroci A, Gargano M, Formenti D, Bosio A, Alberti G, et al. Thermography for skin temperature evaluation during dynamic exercise: a case study on an incremental maximal test in elite male cyclists. *AppliedOptics* [Internet]. 2016. [citado el 1 de dic, 2017]; 55(34): D126-D130. Disponible en: MEDLINE Complete.

²¹ Costa C, Sillero-Quintana M, Piñonosa Cano S, Moreira D, Brito C, Marins J, et al. Daily oscillations of skin temperature in military personnel using thermography. *Journal Of The Royal Army Medical Corps* [Internet]. 2016. [citado el 1 de dic, 2017]; 162(5): 335-342. Disponible en: MEDLINE Complete.

²² Haddad D, Brioschi M, Baladi M, Arita E. A new evaluation of heat distribution on facial skin surface by infrared thermography. *Dentomaxillofacial Radiology*. 2016. [citado el 11 de oct, 2017]; 45.

²³ Buono M, Jechort A, Marques R, Smith C, Welch J. Comparison of infrared versus contact thermometry for measuring skin temperature during exercise in the heat. *PhysiologicalMeasurement* [Internet]. 2007. [citado el 1 de dic, 2017]; 28(8): 855-859. Disponible en: MEDLINE Complete.

3. Termografía

La termografía permite obtener información de temperatura superficial de un objeto sin entrar en contacto con él. Su modalidad clínica se basa en la medición y cuantificación de la temperatura de la superficie del cuerpo²⁴, dependiente de la circulación de la sangre en los milímetros más externos de las capas de la piel. A diferencia de la medición de temperatura mediante el uso de termómetros, la termografía detecta la radiación termal de un cuerpo con la ayuda de una cámara infrarroja y junto con el uso de un software produce una imagen que representa las temperaturas de las distintas áreas del cuerpo²⁵. La imagen obtenida puede considerarse como un mapa térmico del área que se estudia, revelando distintas condiciones fisiopatológicas asociadas a diferentes trastornos que pueda sufrir el paciente. Su aplicación médica se fundamenta en la fisiología térmica humana y en las bases fisiopatológicas de la termorregulación.

Uno de los nuevos usos de la termografía es su capacidad de detectar el cáncer de mama en fases iniciales y de forma precoz a una mamografía²⁶. Mientras que la mamografía busca encontrar el tumor ya formado, las imágenes adquiridas por termografía detectan cambios metabólicos causados antes de la aparición de la lesión²⁷, con la limitante de que las imágenes infrarrojas no suponen un procedimiento de diagnóstico por imágenes anatómicas, y por ello no se puede determinar su ubicación exacta, pero sí un lugar probable dentro de un área determinada. El uso de la termografía es útil en las primeras fases de diagnóstico de diferentes patologías. Si bien no es un elemento definitivo en la decisión terapéutica, su información integrada con otros datos clínicos muestra de forma indirecta las condiciones fisiopatológicas asociadas a diferentes síndromes dolorosos²⁸. La termografía infrarroja constituye una herramienta sencilla, no invasiva, de bajo coste y no emite radiación, pudiendo ser utilizada en niños y embarazadas sin riesgo alguno. Además, puede repetirse tantas veces como sea necesario, con garantías en cuanto a la repetitividad de los resultados. Dicha técnica permite, con el simple gesto de tomar una fotografía o un vídeo, el registrar la energía que irradia el cuerpo humano.

Exploración Ecográfica

Es una técnica de diagnóstico por imágenes que no utiliza radiaciones ionizantes, es inocua y de bajo costo, de fácil acceso, inmediata y proporciona información útil sin causar daño al paciente ya que su plataforma es el uso de acción de pulsos de ondas ultrasónicas.

²⁴ Martin Möhrke, F. A. I. M., & van der Plas, K. Termografía Clínica.

²⁵ Hidalgo Salvador E., Álvarez González F., Salvador Luna A.. Aplicación de la termografía infrarroja en medicina legal: ¿prueba válida para la objetivación de los síndromes dolorosos? *Disfunción temporomandibular. Cuad. med. forense.* 2014.

²⁶ Borchardt, T.B., R. Resmini, L.S. Motta, E.W.G. Clua, A. Conci, M.J.A. Viana, L.C. Santos, R.C.F. Lima, A. Sanchez, 2012. Combining approaches for early diagnosis of breast diseases using thermal imaging. *International Journal of Innovative Computing and Applications*, 4(3-4).

²⁷ Sánchez, A.N., G.J. Velásquez, 2013. Imágenes por radiación infrarroja y termografía, Escuela de Ingeniería de Antioquia (EIA) e Instituto de Ciencias de la Salud.

²⁸ Fikackova H, Ekberg E. Can infrared thermography be a diagnostic tool for arthralgia of the temporomandibular joint? *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2004;98(6):643-50.

El ultrasonido podría definirse como un tren de ondas mecánicas, generalmente longitudinales, originadas por la vibración de un cuerpo elástico, y propagadas por un medio material, cuya frecuencia supera la del sonido audible por el ser humano. La ecografía diagnóstica habitualmente opera a frecuencias de 1 a 20 MHz. La velocidad de propagación es constante para un tejido dado y no se afecta por la frecuencia o la longitud de onda del pulso. Cuanto más próximas estén agrupadas las moléculas, mayor es la velocidad del sonido. Por esto, en los tejidos biológicos la velocidad del sonido es mínima en los gases, y va aumentando gradualmente en líquidos, tejidos blandos y hueso respectivamente. En los tejidos blandos se considera que la velocidad promedio de propagación es de 1.540 m/s²⁹.

En cuanto a la propagación del sonido podemos encontrar diversas interacciones con el tejido, dependiendo de ciertos factores como lo son la interfase y la impedancia acústica. Se denomina interfase al límite o zona de contacto entre dos medios que transmiten el sonido a distinta velocidad.

La impedancia acústica es la resistencia que un medio opone al paso de los ultrasonidos. Cuanto mayor sea la diferencia entre las impedancias de ambos medios, mayor será la intensidad del eco. De menos a más la impedancia acústica del cuerpo es: aire, agua, músculo y hueso.³⁰

Reflexión: se produce cuando la interfase es mayor que la longitud de onda, dependiendo del ángulo de incidencia. El grado de reflexión o retrodispersión está determinada por la diferencia en las impedancias acústicas de los materiales que forman la interfase. Las interfases con gran diferencia de impedancia acústica, como la del tejido con el aire o hueso, reflejan casi toda la energía incidente, mientras que las interfases entre tejidos con menor diferencia de impedancia acústica, como la interfase entre el músculo y la grasa, reflejan solo una parte de la energía incidente, permitiendo el paso del resto.³¹

Refracción: en este caso la onda atraviesa un medio diferente cambiando su velocidad, donde la onda se propaga a una velocidad y a una resistencia diferente ofrecida por el medio (impedancia acústica).

Absorción: se refiere a la pérdida de energía sónica al atravesar un medio, esta absorción será mayor en hueso y tejidos blandos que en líquido.

Dispersión: corresponde al cambio de sentido en múltiples direcciones, tiene una señal débil y se produce cuando la superficie de interfase es menor que la longitud de onda.

Tanto la refracción, absorción y dispersión producen atenuación de la intensidad del pulso sónico a medida que viaja por la materia. La atenuación determina la eficiencia con la que el ultrasonido penetra en un tejido específico. Cuanto mayor es el camino que deben recorrer los ultrasonidos, resultará que los ecos originados en zonas más distantes tendrán menor amplitud que los originados en zonas superficiales.

Imagen ecográfica.

La calidad de imagen está determinada por la resolución espacial, de contraste y temporal. La resolución espacial es la habilidad para distinguir como independientes dos objetos localizados de forma adyacente. Se trata, en definitiva, de la capacidad para definir detalles. Tiene a su vez

²⁹ Middleton, Kurtz, Hertzberg. Ecografía. Washington: MARBAN; 2006.

³⁰ N. Díaz-Rodríguez, R.P. Garrido-Chamorro, J. Castellano-Alarcón. Ecografía: principios físicos, ecógrafos y lenguaje ecográfico. SEMERGEN. 2007; 33(7): 362-369

³¹ Carol M. Rumack, Stephanie R. Wilson, J. William Charboneau. Diagnóstico por Ecografía. Tercera Edición. Canadá: MARBAN; 2007

dos componentes: axial y lateral.³²La resolución axial se caracteriza por ser la resolución a lo largo del eje del haz de ultrasonidos y la resolución lateral, por su parte, se refiere a la resolución en el plano perpendicular al haz y paralelo al transductor.

Resolución de contraste es la capacidad para distinguir dos objetos adyacentes que tienen intensidades similares y resolución temporal es la capacidad para detectar que un objeto está en movimiento. Presenta relación con el número de imágenes por segundo.

1. Ecografía Doppler.

La ecografía Doppler es la modalidad de estudio ecográfico que permite el análisis de flujo sanguíneo presente en arterias y venas del cuerpo humano, entregando información sobre la cantidad, velocidad y consistencia de la sangre en un punto determinado en un momento concreto.³³

Mediante la utilización del efecto Doppler y la fluctuación y deformación generada en la onda sonora, se logra la formación de un mapa de colores acorde al flujo en el sistema vascular. Esta modalidad de estudio establece una relación entre la velocidad detectada de la sangre y el haz de ultrasonido, formando un mapa de color de flujo sanguíneo superpuesto sobre el mapa anatómico proporcionado por la imagen del pulso del eco. El resultado obtenido será un mapa bidimensional que es creado gracias a la detección de la señal reflejada que retornan de centenares de volúmenes sanguíneos a lo largo de cada línea de detección. Una de las utilidades de esta técnica es la evaluación de flujos arteriales y venosos. Muestra la velocidad media del movimiento sanguíneo en relación con el haz de ultrasonidos detectada dentro de cada volumen de la muestra. De esta forma podemos hacer una diferencia entre el flujo arterial y el flujo venoso, que se presenta en diferentes colores según la dirección de la señal. La escala de colores presenta en color rojo el flujo que va hacia el transductor y en azul el flujo que se aleja de él, logrando así diferenciar flujo arterial y flujo venoso

Para la creación de flujo en color, los ecógrafos utilizan la velocidad de la sangre detectada en relación con el haz de ultrasonidos formando un mapa de color y flujo superpuesto sobre la imagen proporcionada por el pulso de eco.³⁴ Este medio consta de un ROI (selección de un área de la imagen ecográfica) que permite al operador ser selectivo en los puntos de los cuales se quiere adquirir información Doppler espectral. El dispositivo divide la señal de eco reflejada en centenares de líneas de detección, de forma que cada muestra tiene tiempo de retraso diferente después de la transmisión de pulso, por lo tanto, regresa desde una profundidad en el tejido ligeramente diferente. La profundidad a partir de la cual ha regresado una señal se puede calcular según su tiempo de retraso, utilizando la velocidad del sonido en el tejido. De esta forma se puede transmitir y recibir varios pulsos a lo largo de la línea de detección para poder captar el movimiento de la sangre. La velocidad relativa media estimada (equivalente a la frecuencia Doppler) a partir de cada volumen de muestra dentro del tejido, se puede mostrar en color dando tonos distintos.

2. Anatomía y exploración ecográfica arterial.

³² Miguel Ángel Granados Ruiz. Principios básicos de ecografía. Continuum [Internet]. 2016 [20/08/2017]. 3-7. Disponible en: <http://continuum.aeped.es>.

³³ Thrush, Hartshorne. Ecografía Vascular cómo, por qué y cuándo. Tercera Edición. España: S.A. Elsevier España; 2010.

³⁴ Polak J. Doppler cuello y extremidades. España: Marban; 2007.

Las arterias son vasos sanguíneos que salen del corazón con sangre oxigenada para el resto del cuerpo. El paciente debe estar relajado, en decúbito supino y con la cabeza apoyada en una almohada. Se le indica que mantenga relajada la musculatura abdominal y que deje caídos los brazos a los lados. Se identifican las arterias y se toman imágenes en forma transversal y longitudinal. Se deben adquirir los datos de las medidas del lumen de estas arterias. En este punto se debe tener claro cuando se considera una estenosis significativa, la literatura nos indica; que esto sucede cuando un vaso reduce el diámetro de su lumen en un 50%, donde también habrá un aumento de la velocidad sistólica máxima acompañada de un flujo turbulento.^{35y36}

El transductor más adecuado para la exploración arterial periférica es el transductor lineal, debido a su rango de frecuencias y la profundidad de las estructuras a estudiar.³⁷

En cuanto a la ecografía Doppler debe practicarse una combinación de: imagen en modo B, imagen de flujo color y determinaciones de Doppler espectral a lo largo de toda la exploración. Se tomarán imágenes de las mismas arterias mencionadas anteriormente, pero en este caso lo que se observa es flujo y direcciones de los vasos. En el modo B la luz de una arteria periférica normal debería aparecer bien definida y las paredes deberían ser uniformes a lo largo de cada uno de los segmentos arteriales. En las arterias femoral y poplítea normales en ocasiones se ve la capa íntima-media de la pared arterial. Siempre debería utilizarse el Doppler espectral para estudiar las áreas de alteración del flujo color.

Osteonecrosis Disbárica (OD)

Corresponde a una forma de necrosis avascular secundaria a enfermedad por descompresión caracterizada por la formación de burbujas de nitrógeno dentro de la cavidad medular, que produce una serie de efectos mecánicos que alteran el flujo vascular óseo³⁸, se observa principalmente en buzos y trabajadores de ambientes presurizados. Las características de lesiones por OD ocurren en huesos largos de médula grasa como húmero, fémur y tibia³⁹. Esta enfermedad se asocia a la exposición a grandes cambios de presión en el ambiente, siendo las burbujas de gas residual la primera causa de OD. Además, en algunos casos existen otros factores etiológicos que pudiesen exagerar los efectos patológicos de las burbujas de gas, haciendo al hueso más susceptible a la necrosis⁴⁰. En términos generales las lesiones metafisarias producto de OD no producen incapacidad funcional, lo que sí puede suceder con las lesiones yuxtaarticulares, es que pueden terminar afectando la forma y función de la respectiva articulación. Los casos deben ser evaluados individualmente a la luz del daño funcional, para determinar su incapacidad laboral ya que los pacientes se pueden presentar asintómicamente. Típicamente OD es detectado mediante resonancia magnética donde descalcificación ósea, lesiones císticas, patrones osteoscleróticos, fracturas no traumáticas, islas óseas y un signo de crecimiento subcondral pueden ser observadas. Las opciones de

³⁵ Terry Needham, RVT, FSVU; Ann Needham, RN, RVT, FSVU. Characteristics of Pressure and Flow in Arteries and Veins: The Application to Noninvasive Peripheral Vascular Testing. *The Journal for Vascular Ultrasound* 35(4):229–236, 2011

³⁶ César de la Torre Puente, María Eugenia Triana Mantilla, Luis Enrique Rodríguez Villalonga, Yunier Arpajón Peña, Loyda Almeida Hernández, Ileana Martínez Góngora. *Peripheral vascular diseases*

³⁷ Thrush, Hartshorne. *Ecografía Vascular cómo, por qué y cuándo*. Tercera Edición. España: S.A. Elsevier España; 2010.

³⁸ Sharareh B, Schwarzkopf R. Dysbaric osteonecrosis: A literature review of pathophysiology clinical presentation, and management. *Clin J Sport Med*. 2014;1-9

³⁹ Catto, M. *Pathology of aseptic bone necrosis*. Amsterdam: Excerpta Medica, 1976.

⁴⁰ C.D.D. Hutter, Dysbaric osteonecrosis: a reassessment and hypothesis. Abril 2000.

tratamiento quirúrgico se componen de descompresión central e injerto vascularizado de peroné libre y las opciones de tratamiento no quirúrgico consisten en la vigilancia, oxígeno hiperbárico (OHB), fisioterapia y la terapia con bifosfonatos. Independiente de lo controversial que continúa siendo, la artropatía total sigue siendo el tratamiento de “gold standard”.⁴¹

Elementos de Protección Personal utilizados en labores de Buceo

En las actividades de buceo se pueden presentar variados factores de riesgo, estos pueden provocar desde lesiones leves, enfermedades profesionales, hasta accidentes fatales. Estos factores de riesgo están limitados a las condiciones ambientales del lugar de trabajo así como también por el tipo de trabajo a realizar.⁴²

Según la Guía Técnica de EPP: Elementos de protección personal utilizados en buceo, aprobado el 21 de abril de 2017, considera que en la actualidad el buceo profesional se desarrolla en diversos sectores productivos, de los cuales Salmonicultura es una de las principales.

Temperatura del agua	Vestimenta
27°C y más	Traje corto (piernas y mangas cortas)
24 a 27°C	Traje húmedo de 3mm de espesor
21 a 24°C	Traje húmedo de 3 a 5 mm de espesor, guantes y botines opcionales
7 a 21°C	Traje húmedo o semi-seco desde 7 mm de espesor, guantes y botines necesarios de acuerdo a la temperatura
-1 a 7°C	Traje seco, guantes y botines

Tabla 1. EPP según condiciones de temperatura en buceo
(Fuente: Instituto de Salud Pública de Chile, 2017.)

⁴¹Clares Ojeda, C. et al. Osteonecrosis disbárica de cabeza humeral en buzo pesquero tratado con artroplastia de superficie. 2015.

⁴² Guía técnica de EPP: Elementos de protección personal utilizados en labores de buceo. Instituto de Salud Pública, 2016.

Objetivos de la investigación e hipótesis

Objetivo General

Describir la condición de la hipotermia y su efecto en la circulación periférica de extremidades pre y post buceo en buzos trabajadores de salmonicultura

Objetivos específicos

1. Descripción de las características higiénico-sanitarias y ambientales de los buzos de salmonicultura
2. Descripción de los protocolos de monitoreo térmico y ecográfico para terreno
3. Determinación mediante tecnología Doppler ultrasonográfica la incidencia de la temperatura en los cambios de circulación periférica en los buzos de salmonicultura.
4. Realización de termografías de cuerpo y mediciones de temperatura óptica para determinar los cambios de temperatura en los buzos.
5. Evaluación estadística de la correlación entre las variables biomédicas, higiénico-sanitarias y ambientales.
6. Describir la condición de la Hipotermia y su efecto en la circulación periférica.
7. Describir la incidencia de la hipotermia en la eliminación de los gases inertes.

Metodología

La metodología de evaluación planteada, requirió de la toma de lecturas in situ en una muestra representativa de trabajadores que realizan tareas de buceo profesional en el rubro y zona geográfica en estudio. En este sentido, reconociendo las condiciones necesarias para realizar un trabajo de campo en centros de cultivo de salmónidos donde se realizan actividades de buceo, fue necesario desarrollar adaptaciones a los protocolos de monitoreo habitualmente utilizados en centros de salud asistenciales que permitieran una correcta observación pese a las condiciones no ideales de trabajo. Respecto de los equipamientos, fue contar con portabilidad y robustez de los equipamientos, seguridad operacional para los investigadores y los voluntarios durante la realización de los monitoreos, lo que implicó mitigar riesgos de electrocución mediante el uso de equipamiento a baterías, uso de indumentaria de trabajo para resistir las inclemencias del clima, transportabilidad y facilidad de uso de los equipamientos, etc.

En general, el protocolo a elaborar en su diseño consideró generar las condiciones ambientales óptimas para que fuese posible obtener información de calidad en un ambiente hostil como lo es una plataforma flotante, el módulo de jaulas de engorda de salmónidos, embarcaciones menores y otras instalaciones que pueden estar presentes en un centro de cultivo de salmónidos.

Para efectos de este trabajo en terreno, se levantaron las actividades de iniciación mediante visitas técnicas a proveedores y sesiones de entrenamiento en protocolos de monitoreo en campus clínicos privados, se evaluaron las tecnologías disponibles y se elaboró un ajustado protocolo de monitoreo que permitiera a través de las variables biomédicas definidas obtener información de calidad científica.

Cálculo del tamaño muestral.

Según el informe del estudio observacional de buceo 2014, existe un universo de 3500 buzos trabajando en salmonicultura, considerando un error máximo aceptable de 13% y un porcentaje supuesto de varianza entre 10 y 95%, el tamaño de muestra propuesta para el estudio fue de 20 voluntarios.

Colaboración académica y entrenamiento en el uso de herramientas tecnológicas médicas

Para esto, se invitó a la Facultad de Medicina de la Universidad Andrés Bello a participar colaborativamente, siendo sugerida la dirección de Escuela de Tecnología Médica apoyando la autorización a la participación de alumnos licenciados en Tecnología Médica a desarrollar su unidad de investigación en el marco de nuestro proyecto. También a través de la Facultad de Medicina de UNAB, accedimos a una reunión técnica con el director de la Clínica Miguel Claro, Dr. Sergio Salas F. quien ejerce la especialidad de Cirujano Vascular. Como resultado de esta visita técnica se desarrollaron los procedimientos de monitoreo en terreno bajo la tutela técnica del Laboratorio Vascular de Clínica Miguel Claro, guiados por los profesionales a cargo de estudios vasculares se capacitó y entrenó al equipo de Tecnólogos médicos en las metodologías de evaluación ecográficas biométricas y Doppler diseñadas en los protocolos de monitoreo.

Desarrollo de protocolos de monitoreo:

En función de la selección del equipamiento y el entrenamiento en el uso de estos, se desarrollaron los protocolos de monitoreo Ecográfico y termográfico, resumen de antecedentes técnicos de las tecnologías a utilizar e implementar en las actividades de terreno y además se diseñó el documento de consentimiento informado para los voluntarios, estos fueron preparados para ajustarse a los tiempos de operación habituales en buceo de salmonicultura estudiados tanto a partir de bibliografía como de observaciones realizadas en la gira prospectiva y a las condiciones de ambiente supuestas, sumando además las consideraciones bioéticas publicadas por la Asociación Médica Mundial en la Declaración de Helsinki de la AMM - **Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos.**

Evaluación Bioética

El proyecto, los protocolos de monitoreo y el documento de consentimiento informado fueron aprobados por del Comité de Ética Científico Adultos del Servicio de Salud Metropolitano Oriente del Hospital del Salvador.

Método estadístico de análisis de la información.1. Tamaño Muestreal alcanzado fue de 21 voluntarios

2. Mediante Boxplotsevaluar la distribución y rango de los datos.
3. Análisis de errores de muestreo, medidas de dispersión, y la inferencia estadística.
4. Desarrollo de modelos de regresión lineal.
5. Evaluación de metodologías de análisis de datos cualitativos.

Etapas experimentales

Se coordinó y desarrolló el diseño de sesiones de monitoreo de operaciones de buceo en los centros de engorda en mar en la empresa MultiexportFoods S.A.

Las actividades de monitoreo se realizaron en los centros de engorda Abtao, Pilolcura, Pelada, Llaguepe, Tauquelin, Chelin y Huyar, todos estos pertenecientes a MultiexportFoods S.A., además se realizó un monitoreo extra en Caleta Maitencillo de región de Valparaíso, donde se realizaron buceos bajo condiciones controladas.

Descripción de condiciones de higiene laboral en buceo de salmonicultura

Mediante el uso de una ficha clínica y encuesta estándar, se compiló la información que describen las condiciones de higiene laboral de los trabajadores buzos de salmonicultura, las fichas se encuentran en el anexo 2

Antecedentes técnicos en protocolo de estudio

Temperatura ótica

El sistema de termoregulación en humanos se mantiene en el comportamiento y las respuestas fisiológicas a la homeostásis térmica⁴³. Nuestros mecanismos fisiológicos son limitados; básicamente, el balance térmico en humanos es mantenido por vasodilatación/vasoconstricción de la piel y de los tejidos periféricos manteniendo la llamada zona termoneutral⁴⁴ u homotemia. La determinación de la condición de homeotermia más precisa para el presente estudio es mediante la utilización de termometría ótica⁴⁵.

Termografía

Para el diseño del protocolo de monitoreo, y debido a la falta de estandarización de la técnica, es necesario tener en cuenta algunos parámetros fundamentales al momento de tomar la imagen, con tal de que la información adquirida no presente errores por mala manipulación del equipo o condiciones ambientales inadecuadas.

Condiciones a considerar:

- Datos de temperatura ambiental, humedad y presión atmosférica al momento de la adquisición de la imagen⁴⁶. Estos 3 factores pueden causar diferencias de intensidad de señal en las imágenes. La atmósfera por su parte transmite su propia radiación entre el cuerpo y la cámara, y absorbe una pequeña parte de la radiación emitida por un cuerpo, provocando una leve pérdida de información⁴⁷. Esta variable puede ser corregida de manera automática por las cámaras termográficas introduciendo el dato de la distancia.
- La humedad por su parte es la causa de que el aire pueda absorber la radiación emitida por los objetos, debido al vapor de agua que contiene⁹.
- A mayor temperatura del aire, más influencia de la radiación tendrá la atmosfera del aire^{8,9}. Estudios recomiendan que la toma de imágenes se realice entre 18°C y 25°C, o en su defecto que la temperatura sea relativamente constante en los distintos estudios termograficos⁸.
- La imagen debe ser tomada en un cuarto libre de fuentes secundarias de radiaciones infrarrojas como lámparas incandescentes o luz solar directa⁴⁸.

⁴³Human cold adaptation: an unfinished agenda. *Steedmann AT Jr Am J Hum Biol.* 2007 Mar-Apr; 19(2):218-27.

⁴⁴Glossary of terms for thermal physiology. Second edition. Revised by The Commission for Thermal Physiology of the International Union of Physiological Sciences (IUPS Thermal Commission). *Pflugers Arch.* 1987 Nov; 410(4-5):567-87.

⁴⁵ Clinical accuracy of tympanic thermometer and noncontact infrared skin thermometer in pediatric practice: an alternative for axillary digital thermometer. *PediatrEmergCare.* 2013 Sep;29(9):992-7. doi: 10.1097/PEC.0b013e3182a2d419.

⁴⁶Hidalgo Salvador E., Álvarez González F., Salvador Luna A.. Aplicación de la termografía infrarroja en medicina legal: ¿prueba válida para la objetivación de los síndromes dolorosos? *Disfunción temporomandibular. Cuad. med. forense [Internet].* 2014 Sep [citado 2017 Ago 19] ; 20(2-3): 77-84.

⁴⁷The Ultimate Infrared Handbook for R&D Professionals. 1st ed. FLIR Systems Incorporated; 2017.

⁴⁸Lahiri B, Bagavathiappan S, Nishanthi K, Mohanalakshmi K, Veni L, Saumya et al. Infrared thermography based studies on the effect of age on localized cold stress induced thermoregulation in human. *Infrared Physics & Technology.* 2016;76:592-602.

- La emisividad de la cámara debe estar configurada a los valores de la piel humana (0,98)⁴⁹.
- La toma de imagen debe hacerse con el cuerpo del paciente seco, ya que, de estar húmedo se podría llegar a una lectura errónea de los datos.
- La cámara debe estar colocada en una superficie rígida y estable, para evitar el movimiento de la misma. Dicha estructura debe estar a una distancia fija y constante, para lograr la reproducibilidad de las imágenes adquiridas⁵⁰.
- La cámara termográfica debe estar a una distancia tal que el Campo Visual sea lo suficientemente grande para tomar la imagen requerida. Para una adquisición de cuerpo completo, se requiere una distancia de 2 metros, mientras que, para zonas más específicas, una distancia de 1 metro es adecuada.
- Se debe evitar que la persona tenga contacto con otras partes de su cuerpo y con la zona a medir para evitar interferencias de temperatura en la piel.
- Paciente de pie, no puede sentarse en una silla o símil ya que esto conllevaría una transferencia de calor entre este y su entorno⁵¹.
- Las imágenes deben ser tomadas previo estudio por ultrasonido, ya que este desarrolla una acción fibrolítica, térmica y vasodilatadora, produciendo un aumento de la temperatura, sobre todo en planos profundos¹²⁻⁵².

Ecografía

- En el examen ecográfico debe practicarse una combinación de: imagen en modo B, imagen de flujo color y determinaciones de Doppler espectral a lo largo de toda la exploración. Además, cabe destacar que es importante mantener un ángulo de insonación inferior a 60° y ajustar los parámetros del equipo a cada territorio.
- En el modo B la luz de una arteria periférica normal debería aparecer bien definida y las paredes deberían ser uniformes a lo largo de cada uno de los segmentos arteriales. Este modo nos sirve principalmente para localizar las estructuras. En las arterias femoral y poplítea normales en ocasiones se ve la capa íntima-media de la pared arterial.
- Por su parte, el Doppler aporta la valoración hemodinámica de los vasos con una estimación de la velocidad del flujo sanguíneo, se obtiene la localización, longitud y grado de estenosis si es que existiera⁵³⁻⁵⁴. La ecografía Doppler permite conocer la presencia y dirección de turbulencias del flujo sanguíneo.

⁴⁹ Jones B. A reappraisal of the use of infrared thermal image analysis in medicine. IEEE Transactions on Medical Imaging. 1998;17(6):1019-1027.

⁵⁰ Ring E, Ammer K. The Technique of Infrared Imaging in Medicine. Thermology International. 2000;10(1):7-14. Epub January 2000. English.

⁵¹ Jones B. A reappraisal of the use of infrared thermal image analysis in medicine. IEEE Transactions on Medical Imaging. 1998;17(6):1019-1027.

⁵² Danz J, Callies R. Thermometrische Untersuchungen bei unterchiedlichen Ultraschallintensitäten. Physiother. 1978;30:235-340. Deutsch.

⁵³ Soulez G, Therasse E, Giroux MF, Bouchard L, Gilbert, P, Perreault P, et al. Management of peripheral arterial disease: role of computed tomography angiography and magnetic resonance angiography. Presse Med. 2011;40(9 Pt 2):e437-52

⁵⁴ Collins R, Cranny G, Burch J, Aguiar-Ibáñez R, Craig D, Wright K, et al. A systematic review of duplex ultrasound, magnetic resonance angiography and computed tomography angiography for the diagnosis and assessment of symptomatic, lower limb peripheral arterial disease. Health Technol Assess. 2007;11(20):iii-iv, xi-xiii, 1-184.

- Siempre debería utilizarse el Doppler espectral para estudiar la onda normal que es trifásica; donde la primera deflexión es anterógrada de alta velocidad (contracción ventricular), luego viene la deflexión retrógrada: flujo reverso de baja velocidad secundario a la resistencia periférica, y finalmente la segunda deflexión anterógrada en la diástole tardía (retroceso elástico de la pared)⁵⁵.

⁵⁵Thrush, Hartshorne. Ecografía Vascular cómo, por qué y cuándo. Tercera Edición. España: S.A. Elsevier ESPAÑA; 2010.

Protocolo de estudio

Se realiza el estudio descriptivo de la respuesta fisiológica a la hipotermia mediante la evaluación de voluntarios trabajadores buzos de salmonicultura en dos etapas de su proceso laboral subacuático: Pre Inmersión y Post Inmersión.

Para la evaluación se ejecuta el protocolo idéntico de monitoreo térmico, ecográfico y termográfico.

Pre Inmersión

1- Ingreso del voluntario:

- a) Completar ficha clínica.
- b) Firma del consentimiento informado.
- c) Otorgar bata al voluntario (Solo con ropa interior y retirar todo el resto).
 - Lugar: Sala de examinación
 - Materiales: Bata, carpeta, consentimiento informado impreso, lápices.
 - Tiempo estimado: 5 minutos

2- Temperatura:

- Se realiza la medición de temperatura ótica en condición de homeotermia.
- Se registra en la ficha de monitoreo
- En caso de determinar condiciones de temperatura anormales se comunicará de a la jefatura directa para que el voluntario sea referido a su asistencia médica local.



3-. Termografía:

La Termografía Clínica es el estudio que se basa en la medición y cuantificación de la temperatura de la superficie de la piel¹. Dicha temperatura depende de la circulación de la sangre en los milímetros más externos, adentro de las capas de la piel. El calor del centro del cuerpo se transporta a través de los vasos sanguíneos donde, por conducción termal, logra disipar hacia la superficie de la piel².

-Preparación: Someter al voluntario a reposo sentado (5 minutos).

- Lugar: Sala de termografía.
- Materiales: Cámara Termográfica, toallas desechables (para secado del cuerpo en estudio post-inmersión), silla, guantes.
- Tiempo estimado: 5 minutos.



Desarrollo: Adquisición de las imágenes termográficas

- Lugar: Sala de examen
- Materiales: Termógrafo, cinta métrica u otro (para marcar distancia), batas y guantes.
- Tiempo estimado: 2 minutos.

a) Ubicar al voluntario a 1 metro del lente de la cámara, ayudado por una línea previamente marcada en el suelo. Indicar al voluntario que sus pies no sobrepasen dicha referencia.

b) Quitar bata del voluntario.

c) Pedir al voluntario que se sitúe en posición anatómica:

- Bipedestación
- Palma de manos en supinación
- Importante: Extremidades no deben contactar con el resto del cuerpo.

d) Adquisición de imágenes:

- Tomar en consideración todos los requisitos para tomar una correcta imagen termográfica (ver *Anexo Termografía*)
- Adquirir 5 imágenes:
 1. Zona de cadera a examinar
 2. Hombro a examinar
 3. Centro del pecho del voluntario
 4. Extremidad superior izquierda
 5. Extremidad superior derecha
 6. Extremidades inferiores

e) Anotar en ficha clínica datos de referencia de la imagen adquirida por el termógrafo (nº de foto en memoria)

f) Otorgar nuevamente bata al voluntario.

g) Despacho del paciente a área de ecografía.

h) Almacenamiento de imágenes.



4-. Ecografía:

El estudio imagenológico ecográfico permite la observación interna de órganos y tejidos blandos mediante la emisión y recepción de ondas acústicas de alta frecuencia y su posterior transducción a imagen bidimensional, esta herramienta incluso puede detectar mediante tecnología Doppler Color⁵⁶ movimiento de circulación y dirección de fluidos internos, lo que permite una observación directa de la velocidad de flujo en vasos sanguíneos.

La zona de estudio debe estar limpia de lociones y seca. Los artefactos producidos por posible vello del paciente pueden ser solucionados aplicando más gel de transmisión en la zona a monitorear.

La sala donde se realiza la exploración debe estar a una temperatura ambiente cómoda (> 20°C).

Materiales:

- Equipo ecográfico con señal Doppler.
- Transductor adecuado para el vaso a estudiar. (Lineal)
- Camilla.
- Sillín para ecografista.
- Papel cubre camilla (1 diario).
- Apoya brazos.
- Gel de transmisión (1 diario). A temperatura ambiental.
- Batas (1 por cada voluntario + 10 por posibles errores o repeticiones).
- Papel higiénico (Limpieza de transductor y del paciente).
- Guantes de látex tallas M y L (1 caja cada 2 o 3 días).
- Jabón (limpieza de manos).
- Alcohol Gel.
- Afeitadoras desechables (recortar vello en zona a estudiar).
- Delantal para ecografista. (Credencial)
- Computador (almacenamiento de datos).

Ingreso de voluntario:

Completar ficha clínica con datos que puedan afectar en la toma del examen (cicatrices, parches, heridas, ausencia de la extremidad o vaso a estudiar, operaciones, etc.)

- Lugar: Sala de ecografía.
- Materiales: Ficha clínica del voluntario.
- Tiempo: 2 minutos

Monitoreo de Extremidad inferior:

El monitoreo incluye las etapas de preparación y posicionamiento del voluntario, a fin de acceder a las condiciones óptimas para la observación vascular

a) Preparación: Sujeto en estudio debe presentar expuesta la extremidad inferior a ser estudiada, de preferencia extremidad derecha.

b) Posición del paciente:

El voluntario se encuentra en bipedestación con las piernas separadas frente al explorador

c) Transductor:

⁵⁶ <https://www.radiologyinfo.org/sp/info.cfm?pg=genus>

El transductor a utilizar para la exploración de las arterias femoral común, poplítea y tibial anterior y posterior será un transductor lineal de frecuencia media, los que se usan para ver estructuras superficiales. Las frecuencias de trabajo fueron manejadas en el rango de 7,5 y 13 MHz⁵⁷.

d) Exploración ecográfica de sector femoral:

En la posición inicial del estudio se identifica la arteria femoral común al nivel de la ingle en una sección transversal, donde se encuentra lateralmente a la vena femoral común. A continuación, girando el transductor ligeramente hacia externo se sigue la arteria femoral común en su región proximal en una sección longitudinal hasta su bifurcación. Es posible diferenciar la vena de la arteria realizando una compresión de la zona con el transductor, ya que la vena es colapsable y la arteria no, esto es importante ya que se encuentra una al lado de la otra. Además, se puede observar el típico movimiento pulsátil de la arteria, mientras que en la vena no ocurre esto, junto a esto es posible asociar el sonido de la arteria si utilizamos la función de Doppler pulsado.

f) Exploración ecográfica del sector poplíteo:

El voluntario se sienta frente al explorador, apoyando el pie de la extremidad a estudiar sobre el muslo de este, de esta forma será más fácil el acceso a la arteria poplítea por posterior de la rodilla. Es importante no sobreextender la rodilla, puesto que ello puede dificultar la visualización. Por el contrario, si la rodilla está demasiado flexionada, resultará difícil el acceso a la fosa poplítea⁵⁸. Se tomarán imágenes en sentido longitudinal y transversal de la arteria poplítea, en la cual habrá que ejercer mayor compresión para ser observada adecuadamente.

g) Exploración ecográfica del sector tibial:

El voluntario se encuentra en la misma posición que el punto anterior, pero en este caso se explorará el sector del tobillo, sin requerir mayor compresión.

La arteria tibial posterior se estudia por posterior al maléolo interno.

La arteria tibial anterior la encontraremos en la cara anterior del tobillo. En este caso es posible observar la curva espectral trifásica normal de una arteria. Ambas arterias deben ser observadas en un corte transversal y longitudinal.

h) Limpieza de la zona de estudio.

i) Procesado y almacenamiento de las imágenes:

En esta etapa se realizará el proceso de medición biométrica de las arterias, junto a los flujos de estas mismas, con el fin de comparar con valores normales.

A considerar:

- Medidas normales de la arteria femoral común: 0,78 cm – 1,12 cm
- Medidas normales de la arteria poplítea: 0,5 cm – 1,1 cm

⁵⁷ Diaz- Rodriguez., N., Garrido-Chamorro., R. and Castellano-Alarcón., J. (2007).

Ecografía: principios físicos, ecógrafos y lenguaje ecográfico. *Semergen.*, 33, pp.362-369.

⁵⁸Thrush, Hartshorne. Ecografía Vascular cómo, por qué y cuándo. Tercera Edición.

España: S.A. Elsevier ESPAÑA; 2010.

- Medidas normales de las arterias tibiales anterior y posterior: 0,2 cm – 0,3 cm ⁵⁹.
- Se han publicado los datos referentes al promedio de la velocidad sistólica máxima en sujetos normales en la arteria femoral común, poplítea y tibiales que corresponden respectivamente a 90, 68 y 60 cm/s ⁶⁰.

Extremidad superior:

El monitoreo de extremidad superior

a) Preparación:

Paciente debe presentar expuesto el hombro y la parte proximal del brazo para una ecografía de la arteria braquial.

b) Posición del paciente:

La exploración ecográfica puede ser realizada tanto en sedestación como en decúbito supino. La cabeza del paciente puede estar apoyada en una almohada baja.

Otra forma de estudio es con el paciente sentado frente al ecografista, apoyando su brazo en una almohadilla con la mano en posición supina.

Para la arteria braquial, si no se logra una visualización con el voluntario sentado, se puede explorar desde el lado de la camilla. El brazo del voluntario debe estar en abducción, rotación externa y reposando sobre un soporte adecuado.

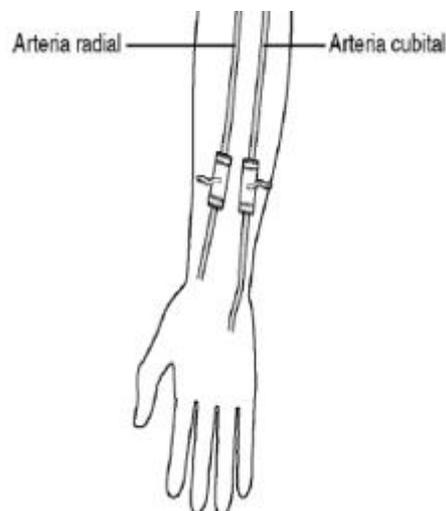
En el segmento distal de la arteria braquial, arteria radial y cubital, la exploración se realiza con la mano del paciente en reposo sobre un objeto adecuado y con una posición supina de esta (palma mirando hacia arriba).



Fig # 3: Decúbito supino



Fig 4: Sedestación en la cama



c) Transductor:

El transductor a utilizar para la exploración de la arteria braquial, radial y cubital será un transductor lineal de frecuencia media, los que se usan para ver estructuras superficiales. Las frecuencias de trabajo suelen ser de 7,5 y 13 MHz ⁶¹.

⁵⁹Thrush, Hartshorne. Ecografía Vascular cómo, por qué y cuándo. Tercera Edición. España: S.A. Elsevier ESPAÑA; 2010.

⁶⁰Jager K A, Ricketts H J, Strandness D E, Jr 1985 Duplex scanning for the evaluation of lower limb arterial disease. In: Bernstein E F (ed) Noninvasive diagnostic techniques in vascular disease. C V Mosby, St Louis, pp 619–631.

⁶¹Díaz- Rodríguez., N., Garrido-Chamorro., R. and Castellano-Alarcón., J. (2007). Ecografía: principios físicos, ecógrafos y lenguaje ecográfico. *Semergen.*, 33, pp.362-369.

d) Arteria radial y cubital:

Ubicadas en la cara anterior del antebrazo.

Se da inicio a la exploración de la arteria radial ubicando el transductor en la zona anterolateral del antebrazo, ajustando los parámetros del equipo para una buena visualización de imagen. El transductor se sitúa de forma longitudinal en la región a estudiar con el brazo del voluntario en posición supina. La exploración se realizará de distal a proximal, esto facilita la ubicación de la arteria. Una vez ubicada la arteria, el estudio continúa con el movimiento del transductor hacia proximal, llegando al inicio del vaso.

Mientras más proximal sea la exploración de la arteria radial, más profunda será su ubicación. Las medidas serán tomadas en el punto medio del antebrazo, lugar donde el calibre y flujo son representativos.

Este proceso se repite para la arteria cubital. Esta presenta su ubicación en la región anteromedial del antebrazo, paralela a la arteria radial.

e) Arteria braquial:

Ubicada a lo largo de la cara interna del brazo hasta el codo, donde se incurva hacia la fosa cubital. Se sitúa superficialmente y es la continuación de la arteria axilar⁶².

La exploración de la arteria braquial se inicia con el transductor en posición transversal y a continuación se realiza un seguimiento de toda su trayectoria de distal a proximal. La adquisición de imagen debe efectuarse en el punto medio del vaso, lugar donde su flujo y calibre serán representativos.

La arteria braquial presenta una ubicación más profunda en el brazo y su visualización puede ser compleja. En dichos casos realizar el estudio con el transductor en posición longitudinal, generando mayor presión con él y con mayor cantidad de gel de transmisión.

f) Aspectos técnicos a considerar:

El equipo ecográfico debe estar configurado para realizar una exploración arterial periférica y, en ausencia de una preselección específica para extremidad superior, se deberán elegir los ajustes predeterminados para estudio arterial de extremidad inferior.

Las mediciones tanto de flujo como del calibre del vaso son realizadas con las herramientas de caliper dispuestas en el ecógrafo a utilizar.

Para diferenciar la presencia de venas y arterias adyacentes es importante considerar su morfología y fisiología. De esta forma las arterias serán identificadas gracias a sus capas musculares que no logran ser deformadas ante la presión del transductor. Además, estas presentan un flujo pulsátil que puede ser identificado gracias a la modalidad Doppler.

Artefactos frecuentes:

Artefacto especular producto de la pared torácica debajo de las arterias.

El protocolo ecográfico de extremidad superior se llevará a cabo en el siguiente orden:

1. Exploración de arteria radial.
2. Exploración de arteria cubital.
3. Exploración de arteria braquial.

⁶²Lopera- Velasquez, L. and Restrepo-Garcés, C. (2016). Bloqueo axilar guiado por ultrasonido y neuroestimulado. *revista Colombiana de Anestesiología*, 44(1).

Consideraciones:

Si la arteria no se visualiza de buena manera con el transductor en posición longitudinal, se puede posicionar en disposición transversal en la misma zona de estudio. Cabe destacar que excesiva presión por parte del operador a nivel de la muñeca con el transductor potencialmente ocluirá los vasos, por lo que los movimientos deben ser sutiles y de fuerza moderada con énfasis en las zonas distales del antebrazo.

Si no es posible ubicar la arteria, se puede ocluir el flujo sanguíneo generando presión con pulgar e índice en la palma de la mano del voluntario por 3 segundos y luego iniciar la exploración.

Utilizar todas las herramientas que brinda el ecógrafo para asegurar que lo visualizado corresponde a arteria y no a vena (Técnica Doppler pulsado).

Consideraciones de aspectos ecográficos:

Existe un efecto cíclico en el aspecto de los patrones de flujo en las arterias distales hacia la muñeca y la mano en relación con los factores como el control de la temperatura corporal. Este efecto cíclico puede hacer que la morfología de la onda de flujo cambie desde un patrón de alta resistencia a un flujo hiperhémico en un minuto. La vasodilatación periférica ocasionará una reducción en la resistencia periférica y el incremento de flujo. En esta situación, la onda de flujo en las arterias radial y cubital puede convertirse en hiperhémica. La vasoconstricción aumenta la resistencia periférica y reduce el flujo, y la onda se convierte en bifásica⁶³.

Término del proceso ecográfico:

- Otorgar al voluntario papel higiénico para que limpie los residuos de gel de transmisión en las zonas estudiadas.
- Pedir al voluntario que se vista y elimine la bata desechable. En paralelo completar datos faltantes de la ficha clínica.
- Limpieza de la sala de ecografía: Limpiar transductor, limpiar camilla y cambiar sabanillas.
- Preparación del equipo para el próximo examen.

Post-inmersión

Se repite el protocolo completo a partir del punto 2 del protocolo en su totalidad.

⁶³Thrush, Hartshorne. Ecografía Vascular cómo, por qué y cuándo. Tercera Edición. España: S.A. Elsevier ESPAÑA; 2010.

Análisis estadístico

Una prueba de 2 muestras se puede utilizar para comparar si las medias de dos grupos independientes son diferentes. Esta prueba se deriva bajo el supuesto de que ambas poblaciones están normalmente distribuidas y poseen varianzas iguales. Si bien el supuesto de normalidad no es crítico (Pearson, 1931; Barlett, 1935; Geary, 1947), el supuesto de varianzas iguales es crítico si los tamaños de las muestras son notablemente diferentes (Welch, 1937; Horsnell, 1953).

B.L. Welch desarrolló un método de aproximación para comparar las medias de dos poblaciones normales independientes cuando las varianzas no son necesariamente iguales (Welch, 1947). Debido a que la prueba t modificada de Welch no se deriva bajo el supuesto de varianzas iguales, los usuarios pueden comparar las medias de dos poblaciones sin primero tener que determinar la existencia de varianzas iguales (support. Minitab.com).

Contraste de medidas

Desconocidas las varianzas poblacionales: Estadístico T

Hipótesis estadísticas:

Bilateral	Unilateral izquierdo	Unilateral derecho
$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$	$H_0 : \mu_1 - \mu_2 \geq 0$	$H_0 : \mu_1 - \mu_2 \leq 0$
$H_1 : \mu_1 - \mu_2 \neq 0$	$H_1 : \mu_1 - \mu_2 < 0$	$H_1 : \mu_1 - \mu_2 > 0$

Estadístico de contraste:

$$T = \frac{(\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2) - 0}{\hat{S}_{\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2}}; \text{ donde: } \hat{S}_{\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)\hat{S}_1^2 + (n_2 - 1)\hat{S}_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]}$$

donde:

\bar{Y}_1 y \bar{Y}_2 : medias de las muestras 1 y 2

\hat{S}_1^2 y \hat{S}_2^2 : varianzas insesgadas de las muestras 1 y 2

n_1 y n_2 : tamaño de las muestras 1 y 2

T se distribuye como una T de Student con $n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad

Tabla1. Fórmulas para definir contrastes de medidas.

Como puede verse en la Tabla 1, las hipótesis se establecen en torno a la diferencia de medias. Si asumimos que la diferencia es 0 (es el supuesto más común), estamos admitiendo que las medias son iguales, si admitiésemos que la diferencia fuese 1, la decisión se tomaría en base a esa diferencia.

Para la comparación de medias a través del estadístico de prueba de medias pareadas, se utilizó el lenguaje estadístico R. Para que existan diferencias significativas, el valor p debe ser menor al nivel de significancia (0.05).

Análisis de Datos

Para el análisis de datos se realizó una descripción estadística basada en indicadores de posición, dispersión y distribución.

A través del lenguaje R, se realizaron diagramas de caja y bigotes (boxplots) para comparar las distintas mediciones tomadas antes y post inmersión, detectando la presencia de datos anómalos a través del criterio de 1,5 veces el rango intercuartil. Este método consiste en aplicar un criterio estadístico basado en un indicador robusto como la mediana y los percentiles 25 y 75 para detectar posibles valores que, dada su magnitud, es poco probable que pertenezcan al grupo de medición.

Se utilizó un test estadístico de comparación de medias a través de un contraste de hipótesis para muestras con distintas varianzas, para determinar si existen diferencias significativas entre los datos poblacionales de los promedios pre y post inmersión.

Se utilizó gráficas de dispersión para graficar el comportamiento de las diferencias pre - post versus los tiempos de inmersión para determinar posibles correlaciones entre estas variables, a través del coeficiente de correlación R^2 .

Debido al reducido número muestral por actividades desarrolladas en buceo, se realizó estadística básica descriptiva de las tendencias que presentaron los resultados biométricos relacionando estos con las actividades ejecutadas por los trabajadores buzos.

Resultados

Se logró un tamaño muestral de 21 trabajadores buzos de salmonicultura, alcanzando el mínimo muestral considerado.

Descripción de Descripción de las características higiénico-sanitarias y ambientales de los buzos de salmonicultura

Las condiciones evaluadas presentaron que la totalidad de los trabajadores buzos que participaron voluntariamente del estudio son de sexo masculino y tienen licencia profesional de buceo donde un 45,5% posee licencia de buzo mariscador básico y el 54,5% restante licencia de buzo intermedio, donde según gráfico 1, es mayor el tiempo histórico de exposición a condiciones de hiperbaria para los trabajadores con licencia buzo mariscador básico que para los buzos intermedio.

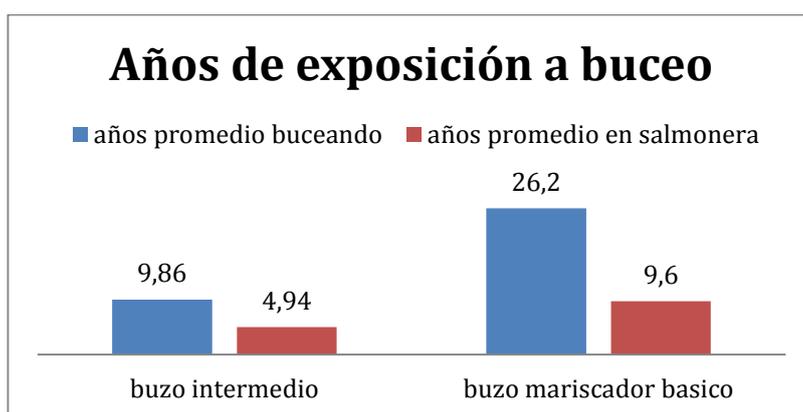


Gráfico 1: Años ejerciendo como buzos según matrícula e industria.

Donde además estos no se han dedicado exclusivamente a salmonicultura, sino que mayoritariamente han trabajado como pescadores artesanales o en otro tipo de faenas subacuáticas ajenas a la salmonicultura.

En todos los sitios evaluados los trabajadores contaban con un lugar camarín cerrado y seco para poder vestir/desvestir sus EPP.

La distribución etaria de los trabajadores buzos (gráfico 2) presentó un rango de edad donde más de la mitad se encontraban desde los 30 a los 59 años.

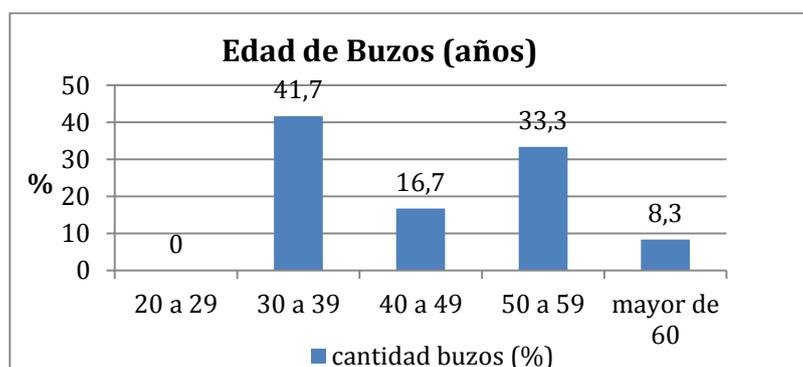


Gráfico 2. Distribución etaria de trabajadores evaluados.

El EPP traje de buceo fue en 100% mediante el uso de trajes húmedos de neopreno, de 1/2 pulgada de espesor.

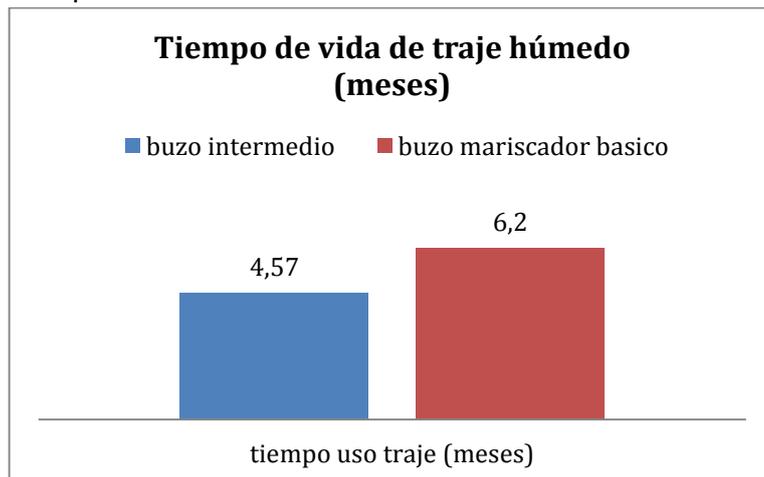


Gráfico 3: Tiempo de uso de traje de buceo según licencia.

Este EPP relacionando el tiempo con licencia de buceo presentó que los buzos intermedios poseían trajes con menor tiempo de uso y consecuentemente desgaste (gráfico 3).

Al realizar la encuesta en la ficha clínica, los trabajadores mayoritariamente no respondieron respecto de hipertensión arterial, diabetes, enfermedad respiratoria y enfermedad coronaria, las cuales según revisión médica al momento de renovar sus licencias inhabilitan a los trabajadores para realizar actividades subacuáticas.

	Si%	No%	no responde %
Consumo de Tabaco	8,33	66,67	25
Consumo de Alcohol	41,7	41,67	16,67
Hipertensión arterial	-	41,67	58,33
Diabetes	-	41,67	58,33
enfermedad respiratoria	-	41,67	58,33
enfermedad coronaria	-	41,67	58,33
usa medicamentos	-	75	25
observaciones	-	83,33	16,67

Tabla 2. Resumen de encuesta Ficha Clínica

Descripción de los patrones termográficos.

Toda la información recabada para la medición de temperaturas mediante relaciones entre temperatura termográfica y temperatura óptica no presentó ninguna relación ni tendencia, esto principalmente debido a que la humedad se presenta como una disrupción a las lecturas producto de que las superficies mojadas interfieren reflejando y distorsionando la emisión del espectro infra rojo mediante el cual los equipos termográficos funcionan.

Descripción de la circulación periférica.

Se analizó con éxito un total de 504 imágenes pre y post inmersión. Dentro del total de imágenes encontramos 288 imágenes de ecografías biométricas referente a los diámetros arteriales medidos en los planos transversal y longitudinal, 144 imágenes ecográficas en modo Doppler para análisis de flujo sanguíneo y 72 imágenes termográficas de las extremidades. A continuación, se muestra la información obtenida tras el análisis de dichas imágenes.

Resultados del estudio ecográfico biométrico y Doppler, en la arteria femoral común y la arteria poplítea no hubo disminución en los valores del promedio de los calibres luego de la actividad, debido a que, ambas están más cerca del centro de temperatura del cuerpo, sumado a la flexión de los músculos esqueléticos (una de las fuentes más importantes de calor).

El equipo de protección personal referente a esta zona consta de dos implementos, un calzoncillo de Neopreno y el traje de buceo, aumentado el grosor total que recubre al trabajador. Sin embargo, en la arteria tibial anterior en transversal y en la arteria tibial posterior en ambos ejes, si hay suficiente evidencia para declarar que la media de los calibres luego de la actividad es menor en comparación a los datos obtenidos antes de la inmersión.

3. Test de Hipótesis

Para dos muestras utilizando la Prueba t dos muestras de Welch, para determinar si existen diferencias para los promedios de cada medición pre y post actividad en el agua.

Las hipótesis utilizadas para esta prueba son las siguientes:

- Hipótesis Nula: Las medias de ambas muestras son iguales.
- Hipótesis Alternativa: Las medias de ambas muestras son distintas.

Para rechazar la hipótesis nula, con un nivel de confianza de un 95% el valor del estimador p-value debe ser menor a 0.05. En caso contrario las medias de estas muestras no tienen diferencias significativas.

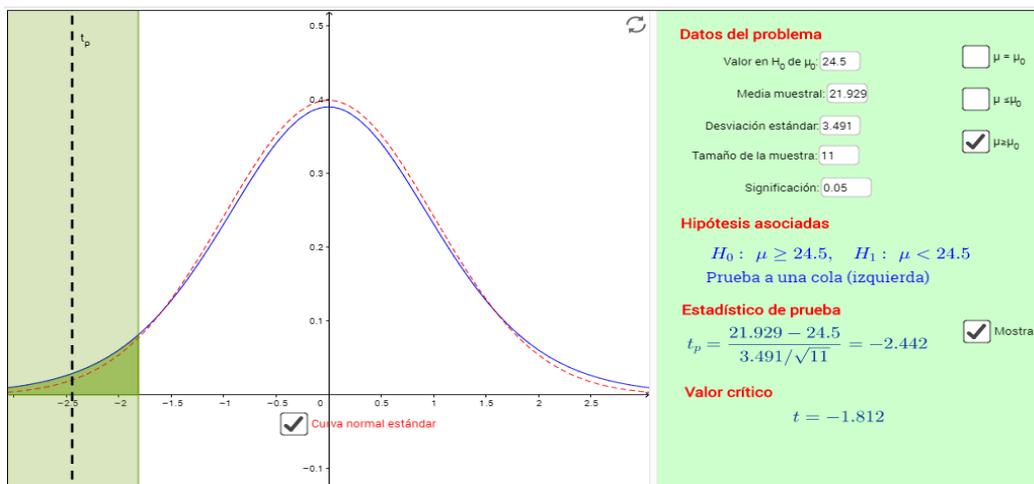


Gráfico 4. Velocidad Tibial anterior

Se rechaza la Hipótesis nula, por lo que si hay suficiente evidencia para declarar que la media de la velocidad peak luego de la actividad sea menor en comparación a los tomados antes de la actividad.

Todos los datos anómalos fueron eliminados del análisis utilizando el criterio de 1,5 veces el rango intercuartil.

El estudio comparativo de los resultados entre el desempeño de la contracción arterial producto de hipotermia nos plantea diferencias cuando son consideradas las actividades de buceo como homogéneas respecto de su nivel de esfuerzo físico. Ahora bien, al analizar el comportamiento de las velocidades de transporte de sangre arterial y los diámetros arteriales entre al menos 3 tipos de actividades realizadas, estas presentan patrones diferenciales, como se aprecia en los Gráfico 5 al Gráfico 10, la respuesta a exposición a condiciones térmicas desfavorables de los trabajadores, puede estar relacionada con cuan diverso sean los patrones de movimientos que realice con mayor incidencia en cada actividad, ya que tanto para la extracción de mortalidad, como actividades de limpieza son requeridos distintos esfuerzos físicos, movimiento de brazos en limpieza respecto de natación por piernas en desplazamiento yo-yo en buceo de extracción de mortalidad. En el gráfico 6 se aprecian cambios de reducción inicial en la velocidad de circulación arterial, los cuales tienden a recuperarse avanzando el tiempo de exposición, siendo más parecidos a los normales en condiciones pre-buceo, estas respuestas varían entre una actividad y otra.

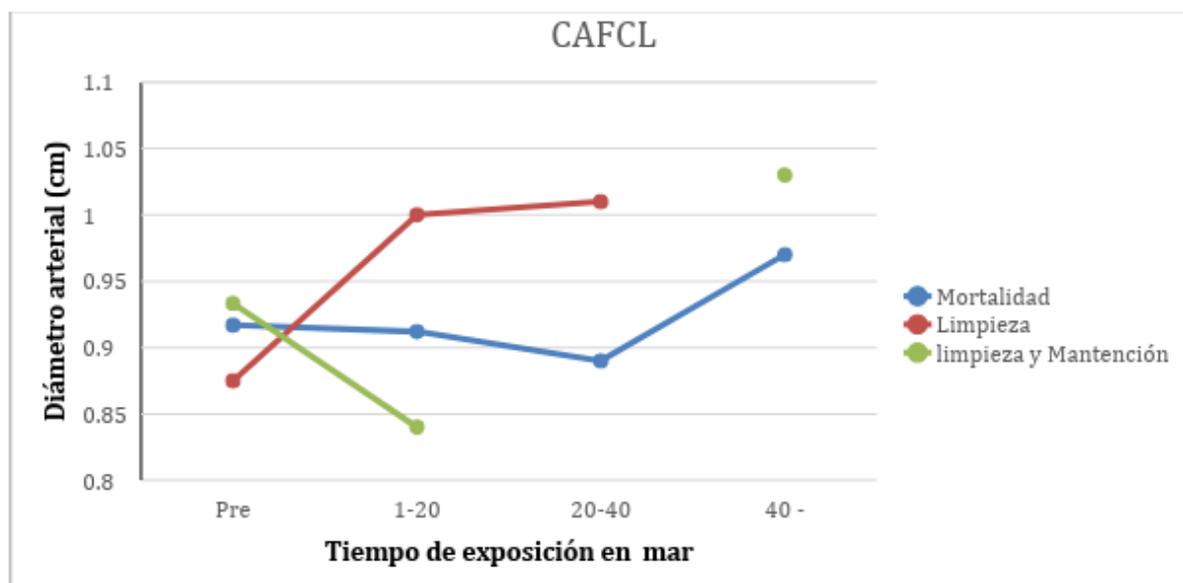


Gráfico 5. Calibre arterial femoral común longitudinal (CAFCL) en diferentes actividades realizadas, tiempo en minutos.

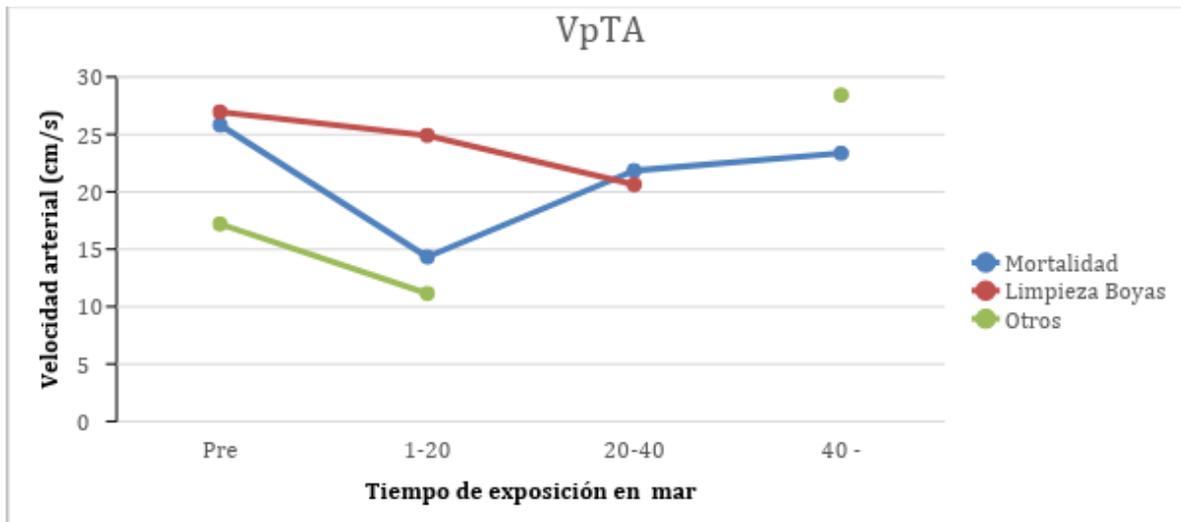


Gráfico 6. Velocidad tibial anterior en diferentes actividades realizadas, tiempo en minutos

Como lo presentan Gráfico 7 y Gráfico 8, en una arteria algo más distal en pierna, esta presenta una marcada reducción del diámetro en la actividad de limpieza de boyas respecto de las demás actividades, tanto en las observaciones de los cortes transversal como longitudinal.

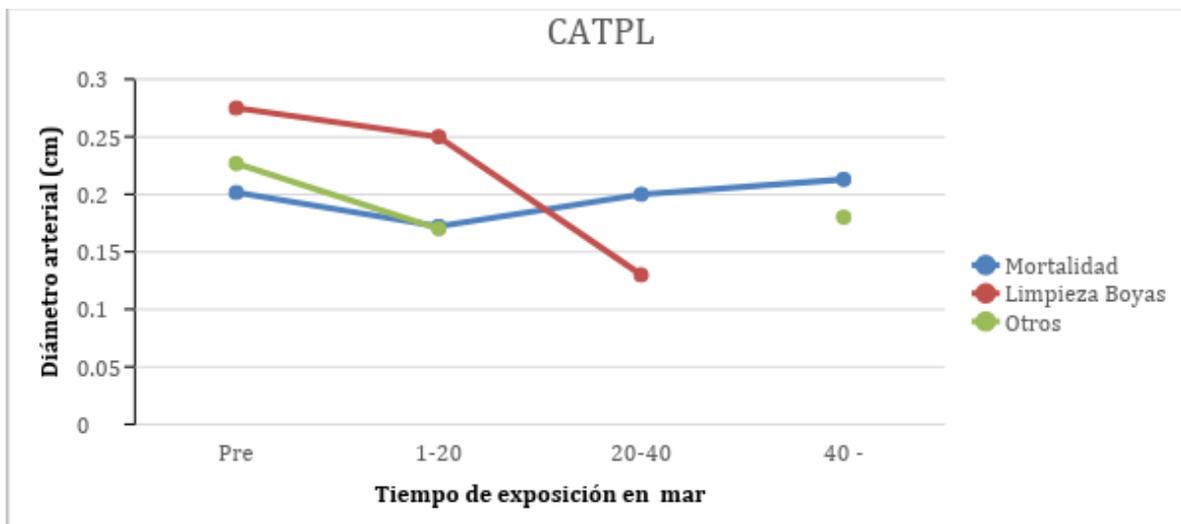


Gráfico 7. Calibre Arterial tibial posterior longitudinal en diferentes actividades realizadas, tiempo en minutos.

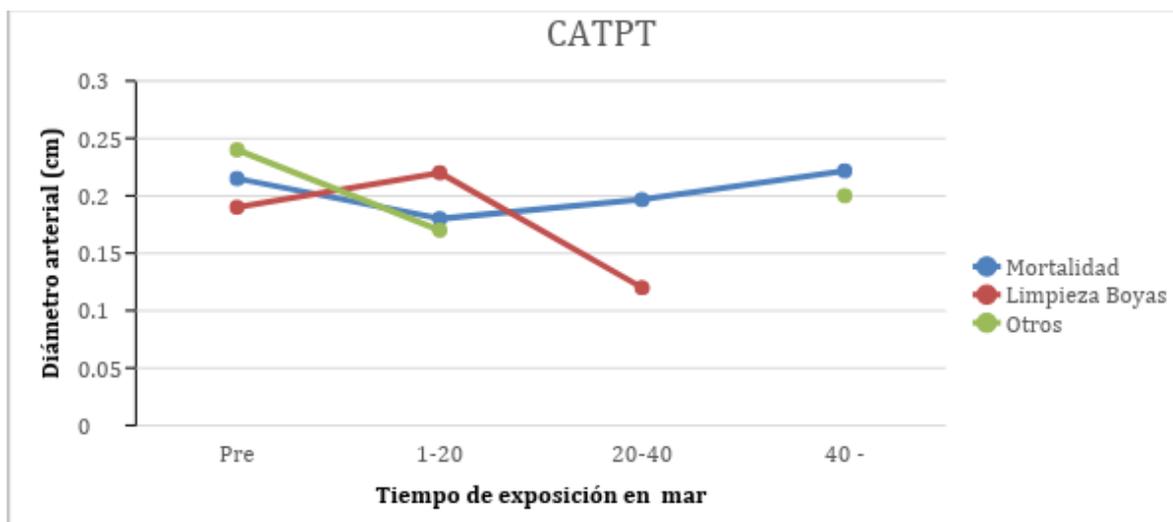


Gráfico 8. Calibre arterial tibial posterior transversal en diferentes actividades realizadas, tiempo en minutos.

Es además evidente el cambio de aumento en la velocidad radial (brazo) en relación con el tiempo de exposición durante la actividad de limpieza de boyas (Gráfico 9), una actividad manual que se realiza principalmente mediante el uso de herramientas limpiantes utilizadas con ambas manos, donde la natación pasa a un segundo plano, esto se presenta como un aumento sostenido en la actividad física, en el tren superior evidenciado con los cambios presentados para la misma actividad en los gráficos 7 y 8 que evalúan el tren inferior.

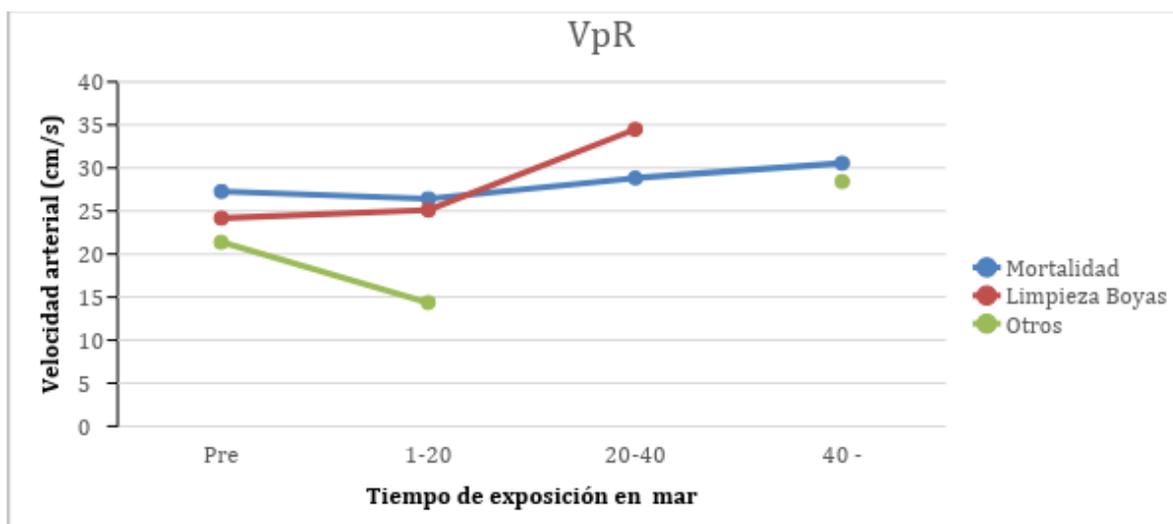


Gráfico 9. Velocidad arterial radial en diferentes actividades realizadas, tiempo en minutos

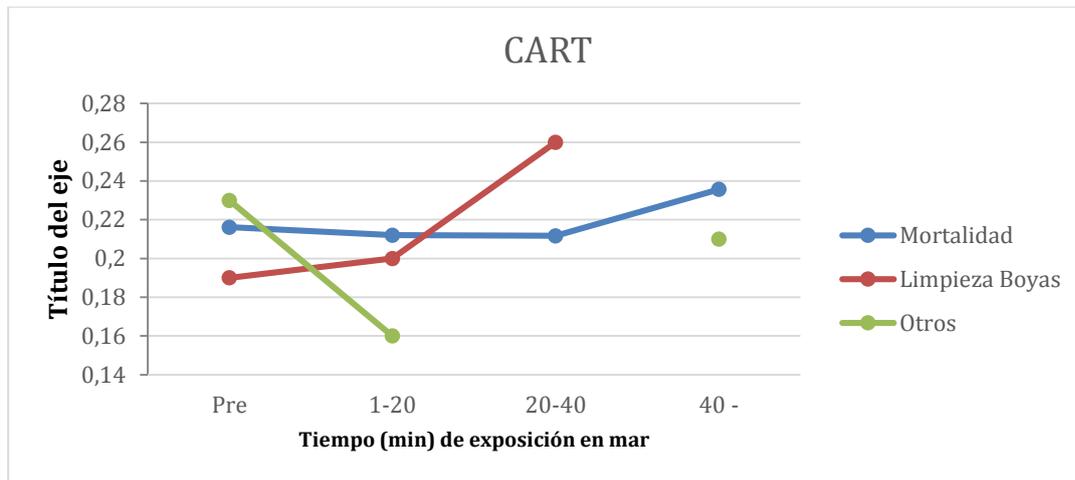


Gráfico 10. Calibre arterial radial Transversal

Discusión

Se han desarrollado protocolos validados por comisión de Bioética que permitieron la descripción en condiciones de terreno ajenas a la de los centros de salud el obtener información termográfica superficial, térmica interna y biométrico ecográfico de un grupo de trabajadores buzos de salmonicultura alcanzando los estándares de la Asociación Médica Mundial en la Declaración de Helsinki de la AMM - **Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos.**

El estudio térmico (tanto termográfico externo como interno) entregó una alta dispersión de datos en monitoreo de temperatura en membrana timpánica, además la termografía fue también influenciada debido a que en el monitoreo post buceo la superficie de la piel se encontraba mojada y era necesario secar con toalla o papel absorbente, siendo ambos generadores de calor por roce y favorecedores de la circulación a nivel superficial, modificando la fidelidad del dato de temperatura.

En el estudio de ecografía biométrica, si comparamos los resultados obtenidos con los resultados propuestos por la literatura, los valores fueron próximos a los diámetros normales de las diferentes arterias. Sin embargo, en ningún caso se observó una estenosis mayor al 50% luego de la inmersión, esto observando desde un punto de vista patológico; es importante precisar que cambios menores pueden significar pequeñas acumulaciones de nitrógeno residual el cual podría a mediano y largo plazo presentarse como factor de riesgo, donde investigar en el modelamiento de dinámica de fluidos podría entregar una visión más clara del comportamiento de los gases residuales en los tejidos.⁶⁴

Es importante destacar que los datos sugieren cambios tanto de ampliación de diámetros en arterias principales como el de disminución de estos en algunos casos, esto es especialmente complejo debido a que al abordar el proceso de monitoreo, se midieron la diversidad de actividades realizadas mediante buceo, estas tienen demanda física diferencial y consecuentemente respuesta al ambiente adverso distintas respecto del tiempo de

⁶⁴ The Computational Fluid Dynamics Analyses on Hemodynamic Characteristics in Stenosed Arterial Models, YueZhou,¹ Chunhian Lee,¹ and Jingying Wang². JournalofHealthcareEngineering, 2018.

exposición, lo que podría explicar la alta desviación estándar respecto de las variables biométricas internas determinadas por ultrasonido. Estas actividades monitoreadas han sido previamente descritas en anteriores estudios licitados por SUSESO.⁶⁵, pero no cuentan con descripción del esfuerzo físico.

Además, esto nos permite hipotetizar respecto de que las labores existentes al no contar con estudios que determinen la carga física impuesta al trabajador por cada una, pueden también requerir de protección térmica diferencial, lo cual es una línea de investigación complementaria que se encuentra abierta para avanzar en las mejoras de las condiciones de seguridad e higiene laboral de los trabajadores buzos de salmonicultura.

Como lo sugieren los gráficos 5 al 10, que comparan el desempeño biométrico entre las diversas actividades realizadas, estos sugieren que el esfuerzo físico es distinto y demanda mayor actividad de modo diferencial entre tren superior y tren inferior, es si las actividades cuentan con mayor movimiento repetitivo asociado a la limpieza de boyas, el trabajador potencia la actividad de sus brazos tiene incidencia directa sobre la capacidad tanto de generar calor mediante trabajo muscular, como la respuesta fisiológica diferencial reflejada en las biometrías ecográficas.

En cuanto a los factores ambientales, como la temperatura climática y del agua mostraron fluctuaciones según horario y lugar de adquisición de datos, presentando temperaturas de agua entre 9-14°C y con temperaturas entre 18-22°C en la sala de estudio previa a la inmersión, además de humedad corporal post buceo que evidentemente afectaron la fidelidad de los datos obtenidos mediante termografía y temperatura ótica.

Otro factor a considerar es la profundidad y el tiempo de trabajo al cual fue sometido cada sujeto de estudio. Dentro de las actividades realizadas encontramos la tarea de extracción de mortalidad, que se lleva a cabo a 30 metros de profundidad máxima. Sin embargo, otras tareas menores como las de instalación de cordeles y mantención no superaban los 10 metros de profundidad máxima. El trabajo realizado también afectaba directamente en los tiempos de buceo puesto que, a 20 metros de profundidad, el máximo de tiempo alcanzado y permitido como política de la compañía fue de 30 minutos, mientras que en tareas más superficiales el tiempo de trabajo podía superar los 95 minutos.

El equipo personal de los voluntarios consta de trajes de 10 mm de grosor. Cada trabajador presenta polera, ropa interior, calcetines, guantes y gorro de Neoprén, herramientas consideradas adecuadas para la exposición submarina en esta región según la normativa vigente.

Las distintas actividades realizadas mediante buceo requieren de esfuerzo físico, siendo diversas, estas posiblemente sean causal de también diversas respuestas fisiológicas. Considerando que la flexión de los músculos esqueléticos durante el ejercicio produce un aumento de la temperatura corporal, sumado a la fricción generada entre la piel del trabajador y el traje de buceo, se produce un aumento de la actividad circulatoria evidenciada en la ecografía. Al ser el grosor del traje adecuado y el tiempo de inmersión acotado, el trabajador no alcanzó condiciones que activen la respuesta fisiológica a la hipotermia y, por ende, no se vio reflejado en el grado de estenosis.

⁶⁵ Estudio observacional de buzos dedicados a la acuicultura, SUSESO, 2016.

Analizando en profundidad fue observada la variación en los calibres de estas arterias se explica porque la porción de la extremidad inferior corresponde a una de las zonas menos protegidas por el equipo de protección personal. El traje solo cubre hasta la parte superior de la articulación del tobillo dejando descubierta el área por el cual transcurren estos vasos. Dicha región se encuentra alejada del centro de temperatura del cuerpo y presenta mecanismos de termorregulación reducida lo que también podría explicar el fenómeno observado.

En los casos donde la evidencia demostró una disminución de la media de los calibres post inmersión no se logró establecer ningún tipo de correlación entre la temperatura y el calibre arterial. Una posible explicación a esto es que la termografía representa los valores de temperatura más superficiales de las zonas estudiadas. Esta variable es muy susceptible a cambios exógenos, y no es representativa de lo que sucede con el vaso.

Los valores de velocidad de flujo sanguíneo obtenidos antes y después de la inmersión no tienen correlación con los valores propuestos por la literatura. La causa de esta diferencia es por un parámetro de adquisición de imagen en el equipo conocido como Frecuencia de repetición de Pulso PRF. Esta herramienta permite modificar la escala de velocidad, definiendo así los valores mínimos y máximos en la muestra. De esta forma, la escala utilizada en la medición de flujo representa valores menores a los estudiados. Por este motivo, la utilización de estos datos no es oportuna. De igual forma, como los valores estaban bajo la misma escala de PRF, se aplicó el modelo estadístico donde de igual manera no se logró encontrar una correlación de velocidad/ calibre y velocidad/ temperatura.

Conclusión

El estudio ha desarrollado los protocolos de monitoreo validados por Comisión de bioética que permiten estudiar el efecto de la exposición a condiciones laborales de buceo en salmonicultura sin afectar la productividad de los centros de cultivo.

No fue posible encontrar cambios significativos tanto termográficos como en temperatura de membrana timpánica.

Ecográficamente en las extremidades superiores no fue posible evidenciar cambios que afecten la circulación periférica. Se evidenciaron cambios mediante biometría ecografía y de menor grado en las extremidades inferiores, pero la alta desviación estándar producto de la diversidad de actividades evaluadas, no permitió validar estadísticamente estas diferencias.

Al comparar los resultados obtenidos con las distintas actividades realizadas por los trabajadores, nos es posible hipotetizar el que es una respuesta diferencial es resultado de los esfuerzos físicos de las distintas actividades que se realizan en producción.

Pese a que los datos sugieren cambios antes y después en los trabajadores, la desviación estándar no permite confirmar que estos cambios son significativos. Es requerido aumentar el tamaño muestral mejorando la resolución que permitiría definir estadísticamente con diferencias significativas y separar por grupos de actividades a desarrollar, por lo que el presente estudio no ha permitido validar condiciones de hipotermia que sean un factor de riesgo de Osteonecrosis disbárica en buzos trabajadores de salmonicultura.

Bibliografía

1. Estudio observacional de buzos dedicados a la Acuicultura, año 2016. Centro de Estudios de Sistemas Sociales, SUSESO 2017
2. Informe comisión de pesca, acuicultura e intereses marítimos. Cámara de diputados de Chile, 2006.
3. Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA). 2017.
4. Panorama Mensual Seguridad y Salud en el Trabajo. Volumen 1 n°4, Superintendencia de Seguridad Social, 2015.
5. Pollok, NW. Thermal stress and diver protection, 2014.
6. Jones, B.F. A reappraisal of the use of infrared thermal image analysis in medicine. IEEE Transactions on medical imagin. Vol 17, N°6. Diciembre 1998.
7. Panorama mensual Seguridad y Salud en el trabajo. Vol 1, n°4, SUSESO. Julio 2015
8. Mauricio J, Ariel N. Instituto de Salud Pública de Chile, Guía Técnica de EPP: Elementos de protección personal utilizados en labores de buceo. 2016, Versión 1.0. [citado el 27 de nov, 2017]
9. Absorción de luz en el medio acuático. Instituto de Tecnologías educativas (ITE). Temas de Ecología [Internet]. 2017. https://jfferrer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion02/61_absorción_de_luz_en_el_medio_acuático.html
10. Propagación del sonido en el mar [Internet]. Biblioteca Digital Mexicana (BDMx). 2017. [citado el 23 de nov, 2017]. Disponible en: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/17/hm/sec_8.html
11. Lévesque L. Law of cooling, heat conduction and Stefan-Boltzmann radiation laws fitted to experimental data for bones irradiated by CO2 laser. Biomedical Optics Express. 2014;5(3):701. [citado el 24 de nov, 2017]
12. Havenith G, Bröde P, den Hartog E, Kuklane K, Holmer I, Wang X, et al. Evaporative cooling: effective latent heat of evaporation in relation to evaporation distance from the skin. Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985) [Internet]. 2013. [citado el 3 de dic, 2017]; 114(6): 778-785. Disponible en: MEDLINE Complete.
13. Lahiri B, Bagavathiappan S, Nishanthi K, Mohanalakshmi K, Veni L, Saumya et al. Infrared thermography based studies on the effect of age on localized cold stress induced thermoregulation in human. Infrared Physics & Technology. 2016; 76:592-602
14. Polderman KH. Mechanisms of action, physiological effects, and complications of hypothermia. CritCareMed. 2009;37:186–202

15. Fullbrook P. Core Temperature Measurement in Adults: A Literature Review. *Journal of Advanced Nursing*. 1993. [citado el 10 de oct, 2017]; 18(9): 1451-1460.
16. Moran D, Mendal L. Core temperature measurement: methods and current insights. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*. 2002; 32(14): 879-885. [citado el 11 de oct, 2017]
17. Hasper D, Nee J, Schefold J, Krueger A, Storm C. Tympanic temperature during therapeutic hypothermia. *Emergency Medicine Journal: EMJ [Internet]*. 2011, [citado el 30 de nov, 2017]; 28(6): 483-485. Disponible en: MEDLINE Complete.
18. Heim G, Blohmke M, Bothmann G, Stof H. [Measurement of skin temperature in breast cancer--a new possibility of early diagnosis]. *MedizinischeKlinik [Internet]*. 1981. [citado el 1 de dic, 2017]; 76(4): 108-111. Disponible en: MEDLINE Complete.
19. Bruins A, Kistemaker K, Boom A, Klaessens J, Verdaasdonk R, Boer C. Thermographic skin temperature measurement compared with cold sensation in predicting the efficacy and distribution of epidural anesthesia. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*. 2017.
20. Ludwig N, Trecroci A, Gargano M, Formenti D, Bosio A, Alberti G, et al. Thermography for skin temperature evaluation during dynamic exercise: a case study on an incremental maximal test in elite male cyclists. *AppliedOptics [Internet]*. 2016. [citado el 1 de dic, 2017]; 55(34): D126-D130. Disponible en: MEDLINE Complete.
21. Costa C, Sillero-Quintana M, Piñonosa Cano S, Moreira D, Brito C, Marins J, et al. Daily oscillations of skin temperature in military personnel using thermography. *Journal Of The Royal Army Medical Corps [Internet]*. 2016. [citado el 1 de dic, 2017]; 162(5): 335-342. Disponible en: MEDLINE Complete.
22. Haddad D, Brioschi M, Baladi M, Arita E. A new evaluation of heat distribution on facial skin surface by infrared thermography. *Dentomaxillofacial Radiology*. 2016. [citado el 11 de oct, 2017]; 45
23. Buono M, Jechort A, Marques R, Smith C, Welch J. Comparison of infrared versus contact thermometry for measuring skin temperature during exercise in the heat. *PhysiologicalMeasurement [Internet]*. 2007. [citado el 1 de dic, 2017]; 28(8): 855-859. Disponible en: MEDLINE Complete.
24. Martin Möhrke, F. A. I. M., & van der Plas, K. Termografía Clínica.
25. Hidalgo Salvador E., Álvarez González F., Salvador Luna A.. Aplicación de la termografía infrarroja en medicina legal: ¿prueba válida para la objetivación de los síndromes dolorosos? *Disfunción temporomandibular. Cuad. med. forense*. 2014.
26. Borchardt, T.B., R. Resmini, L.S. Motta, E.W.G. Clua, A. Conci, M.J.A. Viana, L.C. Santos, R.C.F. Lima, A. Sanchez, 2012. Combining approaches for early diagnosis of breast diseases using thermal imaging. *International Journal of Innovative Computing and Applications*, 4(3-4).
27. Sánchez, A.N., G.J. Velásquez, 2013. Imágenes por radiación infrarroja y termografía, *Escuela de Ingeniería de Antioquia (EIA) e Instituto de Ciencias de la Salud*.
28. Fikackova H, Ekberg E. Can infrared thermography be a diagnostic tool for arthralgia of the temporomandibular joint? *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral RadiolEndod*. 2004;98(6):643-50.

29. Middleton, Kurtz, Hertzberg. Ecografía. Washington: MARBAN; 2006.
30. N.Díaz-Rodríguez, R.P. Garrido-Chamorro , J. Castellano-Alarcón. Ecografía: principios físicos, ecógrafos y lenguaje ecográfico. SEMERGEN. 2007; 33(7): 362-369
31. Carol M. Rumack, Stephanie R. Wilson, J. William Charboneau. Diagnóstico por Ecografía. Tercera Edición. Canadá: MARBAN; 2007
32. Miguel Ángel Granados Ruiz. Principios básicos de ecografía. Continuum [Internet]. 2016 [20/08/2017]. 3-7. Disponible en: <http://continuum.aeped.es>.
33. Thrush, Hartshorne. Ecografía Vascular cómo, por qué y cuándo. Tercera Edición. España: S.A. Elsevier España; 2010.
34. Polak J. Doppler cuello y extremidades. España: Marban; 2007.
35. Terry Needham, RVT, FSVU; Ann Needham, RN, RVT, FSVU. Characteristics of Pressure and Flow in Arteries and Veins: The Application to Noninvasive Peripheral Vascular Testing. *The Journal for Vascular Ultrasound* 35(4):229–236, 2011
36. César de la Torre Puente, María Eugenia Triana Mantilla, Luís Enrique Rodríguez Villalonga, Yunier Arpajón Peña, Loyda Almeida Hernández, Ileana Martínez Góngora. Peripheral vascular diseases
37. Sharareh B, Schwarzkopf R. Dysbaric osteonecrosis: A literature review of pathophysiology clinical presentation, and management. *Clin J Sport Med*. 2014:1-9
38. Catto, M. Pathology of aseptic bone necrosis. Amsterdam: Excerpta Medica, 1976.
39. C.D.D. Hutter, Dysbaric osteonecrosis: a reassessment and hypothesis. Abril 2000.
40. Clares Ojeda, C. et al. Osteonecrosis disbárica de cabeza humeral en buzo pesquero tratado con artroplastia de superficie. 2015.
41. Human cold adaptation: an unfinished agenda. *Steegmann AT Jr Am J Hum Biol*. 2007 Mar-Apr; 19(2):218-27.
42. Glossary of terms for thermal physiology. Second edition. Revised by The Commission for Thermal Physiology of the International Union of Physiological Sciences (IUPS Thermal Commission). *Pflugers Arch*. 1987 Nov; 410(4-5):567-87.
43. Clinical accuracy of tympanic thermometer and noncontact infrared skin thermometer in pediatric practice: an alternative for axillary digital thermometer. *Pediatr Emerg Care*. 2013 Sep; 29(9):992-7. doi: 10.1097/PEC.0b013e3182a2d419.
44. The Ultimate Infrared Handbook for R&D Professionals. 1st ed. FLIR Systems Incorporated; 2017.

45. Jones B. A reappraisal of the use of infrared thermal image analysis in medicine. *IEEE Transactions on Medical Imaging*. 1998;17(6):1019-1027.
46. Ring E, Ammer K. The Technique of Infrared Imaging in Medicine. *Thermology International*. 2000;10(1):7-14. Epub January 2000. English.
47. Danz J, Callies R. Thermometrische Untersuchungen bei unterschiedlichen Ultraschallintensitäten. *Physiother*. 1978;30:235-340. Deutsch.
48. Soulez G, Therasse E, Giroux MF, Bouchard L, Gilbert P, Perreault P, et al. Management of peripheral arterial disease: role of computed tomography angiography and magnetic resonance angiography. *Presse Med*. 2011;40(9 Pt 2):e437-52
49. Collins R, Cranny G, Burch J, Aguiar-Ibáñez R, Craig D, Wright K, et al. A systematic review of duplex ultrasound, magnetic resonance angiography and computed tomography angiography for the diagnosis and assessment of symptomatic, lower limb peripheral arterial disease. *HealthTechnolAssess*. 2007;11(20):iii-iv, xi-xiii, 1-184. <https://www.radiologyinfo.org/sp/info.cfm?pg=genus>
50. Diaz- Rodriguez., N., Garrido-Chamorro., R. and Castellano-Alarcón., J. (2007). Ecografía: principios físicos, ecógrafos y lenguaje ecográfico. *Semergen.*, 33, pp.362-369.
51. Jager K A, Ricketts H J, Strandness D E, Jr 1985 Duplex scanning for the evaluation of lower limb arterial disease. In: Bernstein E F (ed) *Noninvasive diagnostic techniques in vascular disease*. C V Mosby, St Louis, pp 619–631.
52. Lopera- Velasquez, L. and Restrepo-Garcés, C. (2016). Bloqueo axilar guiado por ultrasonido y neuroestimulado. *revista Colombiana de Anestesiología*, 44(1).
53. The Computational Fluid Dynamics Analyses on Hemodynamic Characteristics in Stenosed Arterial Models, Yue Zhou, ¹ Chunhian Lee, ¹ and Jingying Wang ². *Journal of Healthcare Engineering*, 2018.