

REPÚBLICA DEL ECUADOR

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE****FACULTAD DE POSGRADO****MAESTRÍA EN HIGIENE Y SALUD OCUPACIONAL****TEMA:**

ESTRÉS TÉRMICO Y SU RELACIÓN CON LA FATIGA MUSCULAR EN EL
PERSONAL DE BOMBEROS DE LA BRIGADA DE INCENDIOS FORESTALES DEL
CBDMQ - 2025.

**Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de Magíster en
Higiene y Salud Ocupacional**

AUTOR/A: Galo Ezequiel Tello Ramos**DIRECTOR:** Ing. César Andrés Vintimilla Huayamabe, Mgtr.**ASESOR:** Ing. Jorge Alejandro Córdova Castillo, Mgtr.**IBARRA - ECUADOR****2025**

DEDICATORIA

Es justicia dedicar a María Gabriela Velásquez Zurita, mi querida esposa, quien con su apoyo incondicional ha hecho posible la culminación de este trabajo.

A César y Gloria, mis respetados padres, quienes han sufrido la ausencia de su hijo por verlo obtener un logro académico más.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por la salud y vida brindada día a día.

En particular me gustaría agradecer al Director del presente estudio, Ing. César Vintimilla; asimismo, a mi Asesor de tesis Ing. Jorge Córdova; por sus valiosos aportes, apoyo y guía en la elaboración de este trabajo.

Finalmente, a la institución a la que tanto me debo, el Cuerpo de Bomberos del Distrito Metropolitano de Quito.

Gracias totales.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD	0925989832		
APELLIDOS Y NOMBRES	Tello Ramos Galo Ezequiel		
DIRECCIÓN	Calderón, Quito		
EMAIL	getellor@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO	02-2064116	TELÉFONO MÓVIL:	0983096172
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	ESTRÉS TÉRMICO Y SU RELACIÓN CON LA FATIGA MUSCULAR EN EL PERSONAL DE BOMBEROS DE LA BRIGADA DE INCENDIOS FORESTALES DEL CBDMQ - 2025.		
AUTOR:	Tello Ramos Galo Ezequiel		
FECHA: DD/MM/AAAA	5/11/2025		
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
PROGRAMA DE POSGRADO	MAESTRÍA EN HIGIENE Y SALUD OCUPACIONAL		
TITULO POR EL QUE OPTA	MAGÍSTER EN HIGIENE Y SALUD OCUPACIONAL		
DIRECTOR	Ing. César Andrés Vintimilla Huayamabe, Mgtr.		

2. CONSTANCIAS

El autor, Galo Ezequiel Tello Ramos, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 05 días del mes de noviembre del año 2025

EL AUTOR:

Firma _____

Lcdo. Galo Ezequiel Tello Ramos



Ibarra, fecha 05 de noviembre de 2025



Dr. Jorge Gordón
Decano (e)
Facultad de Posgrado

ASUNTO: Conformidad con el documento final

Señor(a) Decano(a):

Nos permitimos informar a usted que revisado el Trabajo final de Grado ESTRÉS TÉRMICO Y SU RELACIÓN CON LA FATIGA MUSCULAR EN EL PERSONAL DE BOMBEROS DE LA BRIGADA DE INCENDIOS FORESTALES DEL CBDMQ – 2025 del maestrante Galo Ezequiel Tello Ramos, de la Maestría de Higiene y Salud Ocupacional, certificamos que han sido acogidas y satisfechas todas las observaciones realizadas.

Atentamente,

	Apellidos y Nombres	Firma
Director	Vintimilla Huayamabe César Andrés	 <p>Firmado electrónicamente por: CESAR ANDRES VINTIMILLA HUAYAMABE <small>Validar electrónicamente con firma20</small></p>
Asesor	Córdova Castillo Jorge Alejandro	<p>JORGE ALEJANDRO CORDOVA CASTILLO</p>  <p>Firmado digitalmente por JORGE ALEJANDRO CORDOVA CASTILLO Fecha: 2025.11.01 15:43:45 -05'00'</p>

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	4
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	7
ÍNDICE DE TABLAS.....	10
ÍNDICE DE FIGURAS	12
RESUMEN.....	13
ABSTRACT	15
CAPÍTULO I.....	16
1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	16
1.1 Contextualización del problema	16
1.2 Identificación de la problemática	18
1.3 Relación con la literatura y el estado del arte.....	20
1.4 Planteamiento de la tesis o argumento central.....	21
1.5 Objetivos.....	23
1.5.1 Objetivo general	23
1.5.2 Objetivos específicos.....	23
1.6 Justificación de la investigación.....	23
CAPÍTULO II.....	26
2. MARCO REFERENCIAL	26
2.1 Marco teórico.....	26
2.1.1 Fundamentación del problema.....	27
2.1.2 Conceptualización de la problemática.....	29
2.1.3 Teorías que respaldan el estudio.....	55

2.1.4 Investigaciones previas y su relación con el problema	57
2.2 Marco legal	61
CAPÍTULO III	65
3. MARCO METODOLÓGICO	65
3.1 Enfoque investigación	65
3.2 Tipo de investigación	65
3.3 Diseño de investigación.....	65
3.4 Descripción del área de estudio	65
3.4.1 Población y muestra.....	65
3.4.2 Criterios de inclusión.....	68
3.4.3 Criterios de exclusión	68
3.5 Procedimiento.....	69
3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	71
3.7 Técnicas de análisis de datos	76
3.8 Consideraciones éticas.....	77
CAPITULO IV	78
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	78
4.1 Resultados.....	78
4.1.1 Estrés térmico – Índice WBGT	78
4.1.2 Fatiga muscular – Fuerza de prensión manual (FPM).....	80
4.1.3 Fatiga muscular – Test de Yoshitake.....	81
4.1.4 Correlación entre el estrés término y la fatiga muscular	84
4.2 Discusión	85
4.2.1 Discusión de resultados y análisis crítico	85
4.2.2 Fortalezas y limitaciones	87

CAPÍTULO V	89
5. PROPUESTA	89
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	113
Conclusiones.....	113
Recomendaciones	114
REFERENCIAS	116
Anexos	131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valores de tasa metabólica por profesión.....	32
Tabla 2 Valores de tasa metabólica por actividad	32
Tabla 3 Factor de ajuste de la vestimenta	34
Tabla 4 Metodología para el cálculo del índice WBGT	35
Tabla 5 Clasificación Niveles de Incendios Forestales en el CBDMQ.	44
Tabla 6 Tablas del Índice de Peligro de Propagación de Incendios Forestales-Rodríguez y Moretti	46
Tabla 7 Descripción de la población según puesto de trabajo.....	67
Tabla 8 Descripción de la población final luego de aplicar criterios de exclusión.	68
Tabla 9 Baremo NTP1189: Criterios de selección para el TLV y valores de acción para la exposición al estrés térmico según la actividad.....	72
Tabla 10 Baremo del Test de Yoshitake.....	74
Tabla 11 Baremo del Dinamómetro manual portátil Handexer HFEH20	75
Tabla 12 Estadísticos temperatura, índice WBGT Estadísticos temperatura, índice WBGT	78
Tabla 13 Alerta del índice WBGTref Alerta del índice WBGTref	79
Tabla 14 Estadísticos FPM, fatiga muscular Estadísticos FPM, fatiga muscular	80
Tabla 15 Nivel de fatiga muscular, índice FPM Nivel de fatiga muscular, índice FPM.....	80
Tabla 16 Estadísticos Test de Yoshitake, fatiga muscular Estadísticos Test de Yoshitake, fatiga muscular	81
Tabla 17 Niveles de fatiga muscular, test de Yoshitake Niveles de fatiga muscular, test de Yoshitake	82

Tabla 18 Matriz de correlación entre el estrés térmico y la fatiga muscular Matriz de correlación entre el estrés térmico y la fatiga muscular	84
Tabla 19 Módulos de capacitación	90
Tabla 20 Guía de Frecuencia Cardíaca Máxima por Edad	105
Tabla 21 Tabla de estimación de costos referenciales sobre la implementación	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ventilación pasiva.....	39
Figura 2 Ventilación activa: chaleco y mangas de enfriamiento.....	39
Figura 3 Sistema OCES.....	45
Figura 4 Casco forestal con accesorios	49
Figura 5 Monja o Hood	50
Figura 6 Interior ignífugo forestal	50
Figura 7 Chaqueta forestal.....	51
Figura 8 Pantalón forestal.....	51
Figura 9 Botas forestales	52
Figura 10 Guantes forestales	52
Figura 11 Mochila forestal	53
Figura 12 Refugio forestal.....	54
Figura 13 Radio portátil de comunicación	54
Figura 14 Alerta del índice WBGTref Alerta del índice WBGTref.....	79
Figura 15 Nivel de fatiga muscular, índice FPM Nivel de fatiga muscular, índice FPM ...	81
Figura 16 Nivel de fatiga muscular, índice FPM Nivel de fatiga muscular, índice FPM ...	83
Figura 17 Flujograma del Procedimiento del Área de Rehabilitación.....	100
Figura 18 Índice de Calor	106

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE POSGRADO
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN HIGIENE Y SALUD OCUPACIONAL
ESTRÉS TÉRMICO Y SU RELACIÓN CON LA FATIGA MUSCULAR EN
EL PERSONAL DE BOMBEROS DE LA BRIGADA DE INCENDIOS
FORESTALES DEL CBDMQ - 2025.

Autor: Lcdo. Galo Ezequiel Tello Ramos

Director: Ing. César Andrés Vintimilla Huayamabe, Mgtr.

Año: 2025

RESUMEN

La presente investigación nace de la preocupación de mejorar las condiciones laborales de la Brigada de Incendios Forestales -BRIF- del CBDMQ; para lo cual se propuso como objetivo, determinar si existe relación entre el estrés térmico y la fatiga muscular en el personal de bomberos de la BRIF del CBDMQ durante las tareas de incendios forestales en el año 2025. Se optó por un estudio cuantitativo, tipo básica, no experimental y correlacional, con mediciones realizadas en un único momento de tiempo de los participantes. Para la estimación del estrés térmico se utilizó el índice WBGT con interpretación de la NTP 1189, para la fatiga muscular se usó dos tipos de valoraciones, una subjetiva, el test de Yoshitake, y una objetiva, la prueba de FPM de la ACSM. Como principales resultados se confirmó la correlación entre las variables de estudio a través del coeficiente de Spearman, teniendo ($\rho = 0,357$; $p = 0,019$); además, el 86% de los casos se ubicaron en alerta amarilla en la medición de estrés térmico; en la fatiga muscular, un 65,1% se ubicó en categoría “débil” luego de concluir las tareas forestales; en tanto, el test de Yoshitake arrojó solo un 2,3% en nivel alto y un 7% en nivel moderado de percepción de fatiga, sugiriendo que los bomberos podrían subestimar el agotamiento físico y resaltando la necesidad de realizar mediciones objetivas. Se concluyó que la exposición al estrés térmico contribuye directamente en la fatiga muscular

durante las operaciones realizadas, destacando que es imperativo ejecutar intervenciones preventivas para proteger la salud y el rendimiento del personal; por ende, se propuso dos tipos de propuestas, un programa de capacitación para el personal de bomberos y un Procedimiento de Implementación de un Área de Rehabilitación para Incendios Forestales de Periodos Operacionales Extensos con base a la NFPA 1584.

Palabras clave: Estrés térmico, fatiga muscular, bomberos forestales, índice WBGT, área de rehabilitación NFPA 1584.

ABSTRACT

The present research arises from the concern of improving the working conditions of the Forest Fire Brigade -BRIF- of CBDMQ; for this reason the objective was to determine if it exists relationship between heat stress and muscle fatigue in the BRIF firefighters of the CBDMQ during the fire tasks in 2025. A quantitative, basic, non experimental, and correlational study was chosen for this research, with measurements at a single period of time from the participants were taken. To estimate the heat stress, the WBGT index was used with the NPT 1189 interpretation, for the muscle fatigue two types of assessments were applied, the subjective one, the Yoshitake test, and the other was an objective FPM test of ACSM. The main results showed the correlation between the variables of the study through Spearman's coefficient ($\rho = 0,357$; $p = 0,019$); additionally, 86% of the cases were in yellow alert zone in heat stress measurement; in respecto f the muscle fatigue, the 65.1% of the cases were categorized as weak after concluding the forest fire tasks; meanwhile the Yoshitake test prove only 2.3% at a high level and 7% at moderate level of perceived fatigue, it suggests that firefighters may underestimate physical exhaustion and highlighting the need of objective measurements. It was concluded that exposure to heat stress directly contributes to muscle fatigue during fire operations, is important to implement preventive interventions to protect the health and personnel performance. Therefore, two proposal were developed, a training program for firefighters and a Procedure for Implementing a Rehab Area for Extended Operational Periods of Fire Forest, based on NFPA 1584.

Keywords: Heat stress, muscle fatigue, forest firefighters, WBGT index, rehab area NFPA 1584.

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Contextualización del problema

La Organización Internacional del Trabajo (OIT, 2020), el cambio climático ha elevado exponencialmente la exposición al calor en trabajos al aire libre, estimando que para el 2030 se perderán más de 2% de las horas laborales en el mundo debido al estrés térmico presente. En el Ecuador, se cuenta con una normativa técnica para trabajos con exposición a calor, establecida en el Anexo 3 Norma Técnica en Seguridad e Higiene en el Trabajo, en donde se emite los umbrales permisibles de la temperatura de globo de bulbo húmedo -Índice WBGT-, para controlar los riesgos térmicos en tareas físicas intensas con exposiciones a calor como la que realizan los bomberos forestales (Ministerio del Trabajo, 2025). Sin embargo, en contextos como los incendios forestales, el cumplimiento de esta normativa resulta complejo debido a la dinámica y premura del trabajo.

Investigaciones recientes destacan que la exposición sostenida en ambientes calurosos puede provocar deshidratación, deterioro cognitivo y disminución de la fuerza muscular, elementos clave en la ejecución eficaz de tareas de alto riesgo como la que cumple el personal de respuesta a incendios forestales de Quito (Ioannou et al., 2022). La interacción entre el calor ambiental, el esfuerzo físico extremo que conlleva las tareas de extinción de incendios forestales y la indumentaria de protección crea un escenario ideal para la posible aparición de la fatiga muscular en el personal de brigadistas forestales.

La ciudad de Quito ha enfrentado una recurrencia alarmante de incendios forestales en los últimos años, en el 2021 con 173 incendios, en el 2022 con 379, en el 2023 con 873 y en el 2024 con 412 incendios en donde se alcanzó una cifra de 2233 has. de vegetación destruida debido a los flagelos en ese año; siendo cifras que reflejan la magnitud del desafío para el personal de bomberos (CBDMQ, 2025). Estos incidentes, que a menudo se intensifican durante la temporada seca o forestal, no solo devastan extensas áreas de vegetación, sino, que también representan una fuente constante de exposición a condiciones extremas para quienes combaten las llamas. La frecuencia de estos incendios exige del personal una capacidad de respuesta sostenida, exponiéndolos a altas temperaturas y esfuerzo físico prolongado.

La respuesta a incendios forestales ha conllevado diversos incidentes y accidentes, tanto a nivel mundial, nacional y local; por ejemplo, un estudio de Glover, et al. (2024) indica que el número de fatalidades de bomberos forestales ha aumentado en la última década, 2013 a 2022, con un registro de 96 muertes por incendios forestales. A principios de 2025, los incendios forestales en Chile cobraron la vida de 3 bomberos; en tanto, Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador, México, Paraguay, Perú y Argentina fueron afectados significativamente por los incendios forestales en el 2024 (Arellano, 2025). Un incendio forestal en la provincia de Loja en el año 2023 ocasionó la muerte de 1 bombero y otro respondiente resultó herido (Diario Correo, 2023).

Los bomberos forestales se enfrentan a condiciones extremas con un alto riesgo que afecta su salud y rendimiento laboral. En tal virtud, la Brigada de Incendios Forestales del Cuerpo de Bomberos del Distrito Metropolitano de Quito [CBDMQ] ejecutan su trabajo en exteriores, bajo altas temperaturas, en una topografía irregular, en diferentes horas del día, aunque se prioriza las horas con luz solar, transportando equipos, herramientas y sus equipos de protección personal forestal, lo que aumenta considerablemente el riesgo de estrés térmico. Esta manifestación no solo representa una amenaza inmediata para la salud de los respondientes, sino que también contribuye significativamente a la aparición de fatiga muscular, lo que compromete la seguridad, la eficiencia y el bienestar del personal (CBDMQ, 2023).

Como vemos, la atención de estos incendios forestales en Quito ha conllevado diversos incidentes y accidentes que comprometen la seguridad y la salud del personal de bomberos, en donde si no se implementan cambios significativos en las operaciones, como la optimización de los tiempos de descanso y recuperación y la implementación de procedimientos para la gestión del estrés térmico, se espera un aumento en la incidencia de fatiga muscular y un deterioro generalizado en la salud física y mental de los bomberos (Díaz, 2025 y Li et al., 2021); por ejemplo lo sucedido en el 2015, los incendios forestales en Quito provocaron la muerte de 3 bomberos y dejaron 23 heridos (El Telégrafo, 2015); y en el año 2024, dejaron al menos seis heridos, incluyendo a dos bomberos forestales (OCHA, 2024). Todo esto, podría impactar negativamente en la eficacia de la respuesta ante emergencias y en la disponibilidad de personal operativo.

¿Cómo influye el estrés térmico en la aparición y el nivel de fatiga muscular en el personal de bomberos de la brigada de incendios forestales del CBDMQ durante sus jornadas operativas en el año 2025?

1.2 Identificación de la problemática

Según la National Fire Protection Association (NFPA, 2021) el incremento del estrés térmico durante las jornadas de combate de incendio se relaciona con síntomas de agotamiento físico, pérdida de fuerza muscular, agotamiento por calor, golpe de calor y disminución de la capacidad operativa en campo. Por lo tanto, los bomberos forestales del CBDMQ están directamente expuestos a los factores de riesgos antes mencionados y además a la exposición solar, falta de descanso y reposición de líquidos, y jornadas laborales extendidas debido a las grandes extensiones que abarcan los incendios forestales.

La fatiga muscular repetida según Meléndez et al. (2024) conlleva a un ausentismo laboral, rotación de personal y disminución en la capacidad de respuesta del equipo ante emergencias; además, afecta la calidad de vida del bombero, tanto a nivel físico como psicológico, por la acumulación de agotamiento y el deterioro de su bienestar general; menciona además que a nivel organizacional, incrementa los costos operativos y reduce la efectividad del servicio público ofrecido por los cuerpos de bomberos.

Según datos del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), durante el año 2016 se documentaron 83 casos de accidentes laborales vinculados a la exposición al calor, de los cuales seis fueron clasificados como graves y uno tuvo un desenlace fatal. Estas situaciones se deben al exceso de calor acumulado en el organismo, causado tanto por condiciones ambientales elevadas como por el esfuerzo físico intenso realizado durante la jornada laboral (INSHT, 2017).

El CBDMQ es una institución pública que brinda servicios de atención de emergencias y que cuenta, dentro de sus procesos administrativos y operativos, certificaciones de gestión como la ISO 9001 Sistema de Gestión de Calidad, producto de esta certificación han generado procedimientos e instructivos estandarizados para su gestión; no se ha encontrado un procedimiento de medidas y control para el manejo del estrés térmico ni para la fatiga muscular. Por ejemplo, el establecimiento de lugares específicos que provean descanso, hidratación, ventilación, monitorización médica después de emergencias

consideradas de gran magnitud o que conlleven un gran impacto físico como lo recomienda la NFPA siendo esta asociación ampliamente aceptada en el ámbito bomberil.

La identificación de la problemática en el estudio sobre estrés térmico y su relación con la fatiga muscular en el personal de bomberos de la brigada de incendios forestales del CBDMQ - 2025 parte de una realidad crítica: los bomberos que combaten incendios forestales están expuestos a condiciones ambientales extremas que desafían su capacidad física y fisiológica; durante las operaciones, enfrentan altas temperaturas, humedad, radiación solar intensa y esfuerzo físico prolongado, lo que genera un entorno propicio para el desarrollo de estrés térmico.

Este fenómeno afecta directamente los mecanismos de termorregulación del cuerpo, provocando desequilibrios fisiológicos y aumentando el riesgo de fatiga muscular, golpes de calor y disminución del rendimiento físico, en el caso específico del CBDMQ, se ha observado que el personal presenta signos de agotamiento muscular, disminución de la capacidad de respuesta y mayor vulnerabilidad a lesiones durante y después de las jornadas operativas.

La problemática se agrava por la falta de protocolos específicos para monitorear y mitigar el estrés térmico en tiempo real, así como por la escasa implementación de estrategias preventivas como pausas activas, hidratación controlada o equipamiento térmicamente eficiente, esto no solo compromete la salud del personal, sino que también pone en riesgo la eficacia de las operaciones de extinción de incendios. Por tanto, se identifica como problemática principal la exposición prolongada al estrés térmico y su impacto negativo en la resistencia muscular y el bienestar físico del personal de bomberos forestales, lo que exige una intervención urgente desde la gestión operativa, la salud ocupacional y la investigación científica.

1.3 Relación con la literatura y el estado del arte

La literatura científica desarrollada hasta el momento no es muy extensa entre el impacto del estrés térmico en la fatiga muscular en una población de bomberos, sin embargo, se muestra a continuación las de principal interés para el desarrollo de esta investigación.

Investigaciones recientes han abordado la relación entre el estrés térmico y la fatiga muscular en trabajadores expuestos a condiciones de calor extremo. Por ejemplo, un estudio realizado por Garcia et al. (2021) en bomberos de Brasil encontró que los niveles de WBGT superiores a 28 °C generaban una reducción significativa en la fuerza de agarre y resistencia muscular tras solo 30 minutos de trabajo continuo.

Uno de los estudios más relevantes es el realizado por Horn et al. (2019), quienes evidenciaron que la exposición a temperaturas extremas durante las actividades de respuesta reduce significativamente la capacidad funcional y aumenta la fatiga muscular, afectando tanto el rendimiento como la seguridad, siendo importante que reciban descanso, recuperación y rehabilitación según la intensidad y la duración del trabajo, independientemente del riesgo aparente que representen únicamente las condiciones ambientales. De manera similar, Sandsund et al. (2024) reportaron que, durante ejercicios simulados de inmersión en humo, los bomberos experimentaron una alta carga fisiológica, reflejada en incrementos del ritmo cardíaco “ 190 ± 13 ppm” y signos de agotamiento muscular, incluso después de períodos de descanso relativamente cortos.

Además, estudios como los de Fullagar et al. (2021) en Australia revelan que los propios bomberos reconocen el impacto del estrés térmico en su rendimiento diario y lo asocian directamente con la aparición de fatiga física, y no se evidenció diferencias por edad o género. Esta percepción también fue registrada en un análisis global realizado por Carballo et al. (2022), quienes identificaron con una muestra de 1459 bomberos forestales de distintas regiones, dificultades para gestionar el estrés térmico y prevenir la fatiga asociada, especialmente durante temporadas de incendios intensos; el 83% valoró un descanso adecuado, la aclimatación, la ventilación corporal y la hidratación por encima de otras estrategias de enfriamiento activo o mecánicas.

En tanto, Kesler et al. (2018) evaluaron la respuesta fisiológica de bomberos urbanos a múltiples ciclos de trabajo físico, destacando un deterioro progresivo en la fuerza muscular y el rendimiento físico tras cada ciclo de exposición al calor. Destacó en el estudio que durante el segundo ciclo de trabajo el rendimiento laboral disminuyó significativamente evidenciando la fatiga muscular y mental; asimismo, el 37% de los sujetos de estudio no pudo completar el segundo ciclo de trabajo.

A pesar de estos avances, existe una brecha de conocimiento en cuanto a estudios que aborden las variables de la presente investigación y en bomberos forestales que trabajen en alturas que sobrepasen los 2000 msnm, como los del CBDMQ, donde la altitud, la topografía y las condiciones climáticas podrían modificar las respuestas fisiológicas al calor. Tampoco se ha explorado suficientemente el uso de herramientas de evaluación combinada como el test de Yoshitake, la prueba de fuerza isométrica de agarre y el índice WBGT para establecer correlaciones específicas entre estrés térmico y fatiga muscular en escenarios reales. Esto justifica la necesidad de investigaciones contextualizadas que permitan diseñar estrategias de mitigación adaptadas a la realidad local alineadas a la tendencia de mejorar la salud ocupacional en el personal de primera respuesta.

1.4 Planteamiento de la tesis o argumento central

El estrés térmico generado por las condiciones ambientales extremas durante la atención de emergencias forestales y el uso de equipos de protección personal en los bomberos de la Brigada de Incendios Forestales del CBDMQ se sugiere que tiene una relación directa y significativa con la aparición de fatiga muscular, afectando su salud ocupacional y rendimiento laboral. Analizar esta relación facilitará el diseño de medidas técnicas y estratégicas que contribuyan a salvaguardar la salud del personal, disminuir la probabilidad de incidentes laborales y mejorar la eficiencia en la atención de emergencias forestales.

A pesar de la existencia de normativas y protocolos de seguridad laboral en la institución que labora el grupo de estudio, la falta de un enfoque adecuado para una correcta recuperación durante las emergencias consideradas de gran magnitud sigue siendo un gran desafío para mitigar estos riesgos. La identificación y análisis de estos factores de riesgos físicos y ergonómicos en este contexto son cruciales para comprender cómo influyen en la

fatiga muscular y así desarrollar estrategias efectivas de prevención institucionales que podrían alinearse a las recomendaciones de normas de seguridad y prevención para el personal de respuesta a emergencias como las que emite la NFPA.

La presente investigación tiene como objetivo analizar la relación entre el estrés térmico y la fatiga muscular en el personal de bomberos de la brigada de incendios forestales del CBDMQ durante el año 2025, se propone identificar cómo las condiciones extremas de temperatura a las que están expuestos durante sus jornadas operativas inciden en su rendimiento físico, particularmente en el desgaste muscular, con el fin de generar propuestas que mejoren su salud ocupacional y optimicen su desempeño en situaciones de emergencia.

Para lograrlo, se aplicará una metodología cuantitativa y descriptiva, basada en la recolección de datos fisiológicos mediante instrumentos de medición del estrés térmico (como el índice WBGT) y pruebas de resistencia muscular antes, durante y después de las jornadas de trabajo; también se realizarán encuestas y entrevistas al personal operativo para conocer sus percepciones sobre el esfuerzo físico, el agotamiento y las condiciones ambientales en las que desempeñan sus funciones.

Esta investigación es necesaria porque el trabajo de los bomberos forestales implica una exposición constante a ambientes hostiles, donde el calor extremo, el esfuerzo físico prolongado y el uso de equipos pesados pueden comprometer su salud y seguridad, a pesar de ello, existen pocos estudios que aborden esta problemática desde una perspectiva científica y aplicada; al comprender cómo el estrés térmico afecta la fatiga muscular, se podrán establecer medidas preventivas, protocolos de recuperación y estrategias de intervención que protejan al personal y fortalezcan la capacidad de respuesta de la brigada ante incendios forestales. En síntesis, esta tesis busca evidenciar una problemática latente en el ámbito de la gestión de riesgos y salud ocupacional, proponiendo soluciones basadas en evidencia que contribuyan al bienestar físico de quienes enfrentan diariamente situaciones de alto riesgo en defensa del medio ambiente y la seguridad ciudadana.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Determinar si existe relación entre el estrés térmico y la fatiga muscular en el personal de bomberos de la Brigada de Respuesta a Incendios Forestales-BRIF del Cuerpo de Bomberos del DMQ durante las tareas de incendios forestales en el año 2025.

1.5.2 Objetivos específicos

- Evaluar el nivel de estrés térmico que presenta el personal de bomberos de la Brigada de Respuesta a Incendios Forestales del Cuerpo de Bomberos del DMQ durante las tareas de incendios forestales en el año 2025.
- Estimar el nivel de fatiga muscular en el personal de bomberos de la Brigada de Respuesta a Incendios Forestales del Cuerpo de Bomberos del DMQ durante las tareas de incendios forestales en el año 2025.
- Determinar la correlación entre el estrés térmico y la fatiga muscular en el personal de bomberos de la Brigada de Respuesta a Incendios Forestales del Cuerpo de Bomberos del DMQ durante las tareas de incendios forestales en el año 2025.
- Diseñar un programa de prevención y control para mitigar la exposición del estrés térmico en el personal de bomberos de la Brigada de Respuesta a Incendios Forestales del Cuerpo de Bomberos del DMQ durante las tareas de incendios forestales en el 2025.

1.6 Justificación de la investigación

Según Guidotti (2012), los servicios de emergencias, seguridad y otras entidades relacionadas tienen como misión principal responder a situaciones extraordinarias que implican diversos tipos de riesgos. El personal que integra estos equipos frecuentemente enfrenta escenarios que superan sus límites físicos, psicológicos y de experiencia, en contraste con quienes desempeñan funciones en ocupaciones convencionales. Asimismo, el autor identifica múltiples peligros inherentes a la labor de extinción de incendios, entre los que se incluyen quemaduras, caídas a distintos niveles, golpes provocados por objetos en caída, accidentes de tránsito durante el desplazamiento a emergencias, electrocuciones, estrés térmico, exigencias físicas extremas y lesiones tanto en tejidos blandos como en estructuras óseas.

Además, la National Fire Protection Association en su norma NFPA 1580: Norma sobre el Programa de Salud y Bienestar Ocupacional para el Personal de Respuesta a Emergencias, enfatiza la necesidad de programas integrales de vigilancia médica y monitoreo de condiciones ambientales que puedan afectar la capacidad de los bomberos para desempeñar sus funciones de forma segura y eficiente. En tal virtud, el estudio del estrés térmico y su relación con la fatiga muscular cobra especial relevancia, ya que ambos factores están directamente asociados a los riesgos ergonómicos y físicos que la norma busca mitigar. Asimismo, recomienda evaluaciones periódicas del estado físico, identificación de riesgos ocupacionales y adaptación de estrategias preventivas, lo cual respalda la pertinencia de investigaciones que exploren estos factores en brigadas activas como la del CBDMQ, (NFPA 1580, 2022).

Por lo tanto, este estudio no solo responde a una necesidad científica, sino también al cumplimiento de estándares internacionales orientados al cuidado de la salud ocupacional de los bomberos, lo que conlleva al beneficio de la salud y bienestar del personal de la Brigada de Incendios Forestales y garantizando una mayor capacidad de respuesta ante situaciones de emergencia, incrementando la seguridad y eficiencia del servicio de emergencia.

La factibilidad de realización de la investigación es positiva, debido a que se cuenta con insumos tales como: bibliografía científica y confiable acerca del estrés térmico y sus efectos en la salud, lo que proporciona un marco teórico sólido; instrumentos y metodologías validadas para evaluar el estrés térmico y la fatiga muscular; y, finalmente, la colaboración con la Brigada de Incendios Forestales del CBDMQ que permitiría acceder a una población de estudio relevante y a los datos necesarios para llevar a cabo la investigación; asimismo, se cuenta con recursos tecnológicos, financieros y la duración estimada del proyecto se ajusta a los plazos habituales de una investigación de este tipo; del mismo modo, se ha conseguido la autorización de la máxima autoridad de la institución pública en donde se pretende realizar la investigación.

La investigación sobre el estrés térmico y su relación con la fatiga muscular en el personal de bomberos de la brigada de incendios forestales del CBDMQ aporta beneficios significativos en los ámbitos social, económico y cultural, que justifican su relevancia y aplicabilidad:

Ámbito social:

Este estudio contribuye directamente al bienestar físico y mental de los bomberos, quienes desempeñan un rol vital en la protección de vidas humanas y del medio ambiente, al identificar los efectos del estrés térmico y proponer estrategias para mitigarlo, se promueve una cultura de prevención y cuidado dentro de las instituciones de respuesta a emergencias; además, mejora las condiciones laborales de un grupo históricamente expuesto a riesgos extremos, fortaleciendo la seguridad ocupacional y el respeto por los derechos humanos en contextos de trabajo de alto impacto.

Ámbito económico:

Reducir la fatiga muscular y los efectos del estrés térmico puede disminuir significativamente los costos asociados a incapacidades temporales, tratamientos médicos, rotación de personal y pérdida de eficiencia operativa; una brigada más saludable y resistente es también una brigada más productiva, lo que se traduce en una mejor gestión de recursos públicos y privados destinados a la atención de emergencias, asimismo, al prevenir lesiones y enfermedades, se optimiza el uso del presupuesto institucional y se evita el gasto innecesario en intervenciones correctivas.

Ámbito cultural:

La investigación promueve una transformación en la percepción del trabajo de los bomberos forestales, visibilizando los desafíos físicos y ambientales que enfrentan, esto fomenta una mayor valoración social de su labor y contribuye a consolidar una cultura de respeto, reconocimiento y solidaridad hacia quienes protegen los ecosistemas y las comunidades; además, impulsa el desarrollo de prácticas culturales más conscientes sobre el cuidado del cuerpo, el entorno laboral y la importancia de la salud en contextos de riesgo.

CAPÍTULO II

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 Marco teórico

Antecedentes

El presente capítulo mantiene como objetivo establecer las bases teóricas-científicas que sustentan la investigación sobre el estrés térmico y su relación con la fatiga muscular en el personal de bomberos forestales del CBDMQ en el año 2025. Para lo cual se abordarán los antecedentes del problema, se continuará con las definiciones de los conceptos claves de las variables de estudio, posterior se expondrán las teorías más relevantes que explican la interrelación de estos fenómenos y finalmente se revisarán investigaciones previas que han explorado aspectos relacionados con el estrés térmico, la fatiga muscular en el contexto laboral de los bomberos forestales.

El arduo trabajo de los bomberos forestales, en particular de las Brigadas de Respuestas a Incendios Forestales, es reconocida por su alta exigencia física, mental y la exposición a condiciones ambientales extremas. Estos profesionales trabajan durante jornadas extendidas de más de 12 horas, transportando equipos y herramientas pesadas de alrededor de 25 kg, soportando temperaturas que superan los 30°C, siendo el calor uno de los principales riesgos que afrontan (García-Heras et al., 2024).

La combinación de altas temperaturas ambientales, el calor radiante del fuego, el esfuerzo físico intenso y el uso de equipos de protección personal -EPP- que limitan la disipación del calor corporal, genera un escenario ideal para el desarrollo de estrés térmico (Xu et al., 2025). En el mismo estudio, se menciona que una exposición a 37 °C durante una actividad intensa representó en un aumento significativo de la temperatura corporal central de $38,8 \pm 0,2$ °C, una frecuencia cardíaca casi máxima de 164 ± 18 lpm, un mayor consumo de energía y una ligera deshidratación de $2,08 \% \pm 0,35 \%$; asimismo, indica que se debe priorizar la recuperación y el enfriamiento de los bomberos que trabajan en calor extremo, y finalmente manejar la intensidad y duración del trabajo.

Históricamente, el enfoque en la salud y seguridad de los bomberos ha reconocido los peligros inherentes de su ambiente de trabajo como son la inhalación de humo, traumas y las quemaduras, pero la búsqueda de una posible relación entre del estrés térmico y la fatiga

muscular que conlleve a una disminución del rendimiento, una toma de decisiones desatinada y el aumento del riesgo de lesiones, ha ganado mayor atención en los últimos años.

Wohlgemuth et al. (2023) señalan que el sobreesfuerzo y el estrés térmico han sido identificados como componentes críticos en el servicio de bomberos, necesitando marcos conceptuales que permitan entender mejor su interacción y consecuencias; incluyen, que existe una clara conexión fisiológica entre una mayor exposición al calor en el trabajo y el esfuerzo para regular la temperatura corporal dando como resultado un aumento de probabilidades de sufrir lesiones.

La fatiga muscular, exacerbada por el estrés térmico, no solo reduce la capacidad de trabajo y la eficiencia en las tareas de extinción, sino que también puede comprometer la toma de decisiones y aumentar la vulnerabilidad a accidentes y lesiones (García-Heras et al., 2024). Este panorama justifica la necesidad de profundizar en la relación específica entre el estrés térmico y la fatiga muscular en el contexto particular de los bomberos forestales, considerando las demandas únicas de su entorno laboral.

2.1.1 Fundamentación del problema

El personal de bomberos, en el ejercicio de sus funciones, se enfrenta de manera recurrente a condiciones de estrés térmico extremo, derivado tanto de las altas temperaturas ambientales generadas por los incendios como del considerable aislamiento térmico que proporcionan sus equipos de protección personal (Díaz, 2025). Esta exposición no solo representa un riesgo directo para la salud, como el golpe de calor, sino que también se ha identificado como un factor contribuyente significativo a la disminución del rendimiento físico y al aumento de la fatiga muscular (Li et al., 2021). La normativa internacional, como la NFPA 1584, *Standard on the Rehabilitation Process for Members During Emergency Operations and Training Exercises*, subraya la importancia de la monitorización y mitigación del estrés térmico, reconociendo implícitamente su impacto en la capacidad operativa y la seguridad del bombero (NFPA, 2022).

La investigación científica ha abordado la relación entre el estrés térmico y la fatiga muscular desde diversas perspectivas fisiológicas. Estudios han demostrado que la elevación de la temperatura central corporal, hipertermia, induce una serie de respuestas que pueden acelerar la aparición de la fatiga. Por ejemplo, se ha observado que el estrés térmico puede

alterar el reclutamiento de unidades motoras, disminuir la eficiencia contráctil del músculo y afectar el metabolismo energético muscular, llevando a una depleción más rápida de glucógeno y a una acumulación de metabolitos asociados con la fatiga (Fitts, 1994). Del mismo modo la NIOSH (2016) menciona que las enfermedades, lesiones y la baja productividad relacionadas con el calor en el trabajo suceden cuando el calor total, sea del ambiente y del cuerpo por la actividad, es mayor de lo que el cuerpo puede soportar para mantener su funcionamiento normal; se pueden reducir los efectos negativos en la salud aplicando correctamente controles de ingeniería y de prácticas de trabajo, capacitando y aclimatando a los trabajadores, midiendo y evaluando el estrés por calor, realizando vigilancia médica y utilizando adecuadamente ropa de protección contra el calor y equipo de protección personal .

Además, la deshidratación, una consecuencia común del trabajo en ambientes calurosos y el uso de EPI, exagera estos efectos, comprometiendo el volumen plasmático y, por ende, la capacidad del sistema cardiovascular para disipar el calor y suministrar oxígeno y nutrientes a los músculos activos (ACGIH, 2017). Investigaciones específicas en bomberos, utilizando simulaciones de tareas de extinción, han corroborado una reducción en la fuerza isométrica y la resistencia muscular tras la exposición a condiciones de estrés térmico, incluso cuando se utilizan los EPP reglamentarios (Agostinelli, 2024).

Desde el ámbito de la prevención de riesgos laborales y la salud ocupacional, diversas organizaciones han emitido directrices para la evaluación y control del estrés térmico. La *National Institute for Occupational Safety and Health* -NIOSH- de Estados Unidos, por ejemplo, proporciona criterios para límites de exposición recomendados al calor, considerando la tasa metabólica y la temperatura ambiental, con el fin de prevenir el estrés térmico excesivo que conduce a la fatiga y otros trastornos (NIOSH, 2016).

Similarmente, la *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* -ACGIH- establece los *Threshold Limit Values* -TLVs- para el estrés por calor, que sirven como guías para controlar la exposición y proteger a los trabajadores, incluyendo aquellos en servicios de emergencia (ACGIH, 2017). En el contexto europeo, las Notas Técnicas de Prevención -NTP- del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo de España, como la NTP 1189: Evaluación del riesgo de estrés térmico: Índice WBGT, ofrecen metodologías

para la evaluación del riesgo por calor, fundamental para diseñar estrategias de prevención que mitiguen la fatiga muscular y mejoren la seguridad (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2023).

A pesar de los avances en la comprensión de los mecanismos fisiológicos y el establecimiento de normativas y guías, la interrelación específica entre la intensidad del estrés térmico y el desarrollo de la fatiga muscular en escenarios operativos reales sigue siendo un área de interés activo. Investigaciones como la de Carballo-Leyenda et al. (2024) sugieren que los protocolos de trabajo-descanso y las estrategias de enfriamiento activo durante la rehabilitación son cruciales, pero su optimización requiere una comprensión más profunda de cómo la fatiga muscular se manifiesta y progresa bajo diferentes niveles de estrés térmico en esta población. Por lo tanto, la presente investigación busca profundizar en la cuantificación de esta relación en el contexto específico del personal de bomberos, considerando las variables operativas y los estándares de protección actuales, con el fin de proponer medidas preventivas más eficaces que salvaguarden su salud y optimicen su rendimiento.

2.1.2 Conceptualización de la problemática

Factores de riesgos laborales

Los factores de riesgo laborales son condiciones, situaciones o características del entorno de trabajo que pueden causar daño a la salud física o mental de los trabajadores. Según la Organización Internacional del Trabajo -OIT-, estos factores se clasifican en físicos, químicos, biológicos, ergonómicos, psicosociales y mecánicos (OIT, 2018). En el caso de los bomberos forestales, los riesgos físicos incluyen exposición a altas temperaturas, humo y lesiones por terreno irregular; los riesgos psicosociales abarcan el estrés por turnos prolongados y la presión de situaciones de emergencia. La identificación y gestión de estos factores son esenciales para garantizar la seguridad ocupacional (Alves et al., 2023).

Estrés térmico

Se refiere a la carga neta de calor a la que un trabajador está expuesto, resultante de la combinación de las contribuciones del calor metabólico del trabajo que se esté realizando; los factores ambientales como la temperatura del aire, humedad, movimiento del aire, calor

radiante; y los requisitos de la vestimenta (ISO 7243, 2017). En bomberos, este se ve agravado por el EPP que, aunque protector, dificulta la termorregulación natural del cuerpo y por lo tanto dicho personal ha experimentado estrés térmico durante un servicio (Barker et al., 2021).

Cuando las condiciones del ambiente de trabajo, la actividad física y la ropa se combinan, generan una carga de calor sobre el trabajador, a esto se le llama estrés térmico. La sobrecarga térmica, por otro lado, es la respuesta del cuerpo a este estrés, el costo fisiológico de regular su temperatura interna (INSST, 2011).

Ambiente térmico por calor

Se refiere a las condiciones ambientales que resultan en una ganancia neta de calor por parte del cuerpo, pudiendo llevar a un aumento de la temperatura corporal central si los mecanismos de termorregulación son insuficientes. Este ambiente está determinado por factores como la temperatura del aire, la humedad, la radiación (solar, terrestre y de las llamas) y la velocidad del viento (Havenith, 1999; NIOSH, 2016). Para los bomberos forestales, la exposición al calor no solo proviene del clima, sino también de la proximidad al fuego y del equipo de protección personal que limita la disipación del calor (Rodríguez-Marroyo et al., 2012).

Metabolismo basal

Es la cantidad mínima de energía que un organismo necesita para mantener sus funciones vitales en estado de reposo absoluto, incluyendo la respiración, la circulación sanguínea, la regulación de la temperatura corporal y la actividad celular (McArdle et al., 2015). Generalmente se mide por la mañana, después de un ayuno de 12 horas y tras un sueño reparador, en un ambiente térmicamente neutro (Trumbo et al., 2002).

El INSST lo considera el punto de partida para estimar el consumo metabólico total durante la actividad laboral (INSST, 1993).

Estimación del metabolismo de trabajo

Consiste en cuantificar el gasto energético adicional al metabolismo basal que se produce durante la realización de una actividad física o laboral específica. Este valor es

crucial para evaluar la carga fisiológica impuesta por el trabajo (ISO 8996:2021, 2021). En bomberos forestales, el metabolismo de trabajo puede ser muy elevado debido a la combinación de tareas exigentes como caminar sobre terreno irregular, transportar equipo pesado y realizar labores de extinción (Groot et al., 2019).

Carga térmica de trabajo

Representa la suma del calor metabólico generado por el cuerpo durante la actividad física y el calor intercambiado con el ambiente en sus diferentes métodos -conducción, convección y radiación-. Una carga térmica de trabajo elevada puede conducir a estrés por calor si supera la capacidad del cuerpo para disipar el calor (Parsons, 2014; ISO 7243:2017, 2017). Los bomberos forestales experimentan una alta carga térmica de trabajo debido a la combinación de un alto gasto metabólico y la exposición a fuentes de calor externas intensas (Rodríguez-Marroyo et al., 2021).

Estimación del consumo metabólico a través de tablas

Es un método indirecto para determinar el gasto energético de diversas actividades laborales mediante el uso de tablas estandarizadas que asignan valores metabólicos, normalmente expresados en Watts, Kcal/min o METs, a tareas o profesiones específicas (ISO 8996:2021, 2021). Si bien son prácticas, estas tablas pueden no reflejar con precisión la variabilidad individual y las condiciones específicas del trabajo de los bomberos forestales.

Estimación de la tasa metabólica según la profesión

Similar al método anterior, este enfoque utiliza valores promedio de gasto energético asociados a diferentes ocupaciones para estimar la tasa metabólica. Este método clasifica las profesiones en categorías generales: ligera, moderada, pesada y muy pesada; y asigna un rango de consumo metabólico a cada una; la NTP 323 (INSST, 1993) describe este sistema. Sin embargo, la heterogeneidad de las tareas dentro de una misma profesión como la de bombero forestal mismas que pueden variar, desde la vigilancia hasta la supresión directa del fuego, limita la precisión de este método.

Tabla 1*Valores de tasa metabólica por profesión*

Ocupación	Tasa metabólica (W·m ⁻²)
Trabajo sedentario	55 a 70
Trabajo administrativo	70 a 100
Conserje	80 a 115
Albañil	110 a 160
Carpintero	110 a 175
Cristalero	90 a 125
Pintor	100 a 130
Panadero	110 a 140
Carnicero	105 a 140
Relojero	55 a 70
Operador de vagoneta	70 a 85
Picador de carbón	110
Operador de horno de coque	115 a 175
Operador de alto horno	170 a 220
Operador de horno eléctrico	125 a 145
Moldeo manual	140 a 240
Moldeo a máquina	105 a 165
Fundidor	140 a 240
Herrero	90 a 200
Soldador	75 a 125
Tornero	75 a 125
Fresador	80 a 140
Mecánico de precisión	70 a 110
Componedor manual artes gráficas	70 a 95
Encuadernador	75 a 100
Jardinero	115 a 190

Nota: Datos tomados de la NTP 1011 (2014).

Estimación de la tasa metabólica según la actividad

Consiste en desglosar el trabajo en sus actividades componentes y asignar a cada una un valor metabólico obtenido de tablas o estudios previos. La tasa metabólica total se calcula sumando el gasto energético de cada actividad, ponderado por su duración (ISO 8996:2021, 2021). Este método ofrece mayor precisión que la estimación por profesión, especialmente si se consideran las particularidades del trabajo de los bomberos forestales (Heil, 2002).

Tabla 2*Valores de tasa metabólica por actividad*

Clase	Tasa metabólica (W)	Actividad (ejemplos)
Descanso	115 (entre 100 y 125)	Sentado, de pie, en descanso.
Actividad ligera	180 (entre 125 y 235)	Trabajo manual ligero (escribir, teclear, dibujar, costura, contabilidad). Trabajo manual con manos y brazos (con herramientas pequeñas, inspección, clasificación, montaje o selección de materiales ligeros). Trabajo con los brazos y las piernas (conducción de vehículos en condiciones normales, activación con el pie de interruptores o pedales). Tallado de pie (piezas pequeñas), fresado (piezas pequeñas), enrollado de bobinas y pequeñas armaduras; mecanizado con herramientas de baja potencia (taladros, amoladoras, etc.), caminar sin prisa (velocidad hasta 2,5 km/h).
Actividad moderada	300 (entre 235 y 360)	Trabajo sostenido con manos y brazos constante (clavar clavos, limar, etc.). Trabajo con brazos y piernas (conducción de camiones, tractores o máquinas de obras públicas en obras); trabajo con tronco y brazos (martillos neumáticos, acoplamiento de aperos a tractor, enyesado, manejo intermitente de pesos moderados, escardar, usar la azada, recoger frutas y verduras, tirar de o empujar carretillas ligeras, caminar a una velocidad de 2,5 km/h hasta 5,5 km/h, trabajos en forja).
Actividad alta	415 (entre 360 y 465)	Trabajo intenso con brazos y tronco; transporte de materiales pesados; palear; empleo de macho o maza; empleo de sierra; cepillado o escopleado de madera dura; corte de hierba o cavado manual; caminar a una velocidad de 5,5 km/h hasta 7 km/h; empujar o tirar de carros o carretillas guiadas con la mano que transporten cargas elevadas; desbarbado de fundición; colocación de bloques de hormigón.
Actividad muy alta	520 (>465)	Actividad muy intensa a ritmo de muy rápido a máximo; trabajo con hacha; cavado o paleado intenso; subir escaleras, rampas o escalas; caminar rápidamente a pequeños pasos; correr; caminar a una velocidad superior a 7 km/h.

Nota: Datos tomados de la NTP 1189 que está considerado bajo el criterio de la ACGIH 2018, NTP 1189 (2023).

Estimación de la tasa metabólica a partir de los componentes de la actividad

Este es un enfoque más detallado donde la tasa metabólica se estima analizando los movimientos y esfuerzos específicos de cada tarea, considerando factores como el peso corporal, la masa muscular implicada y la intensidad del esfuerzo (ISO 8996:2021, 2021). Aunque más complejo, puede proporcionar estimaciones más precisas para actividades físicamente exigentes y variables como las que realizan los bomberos forestales que durante la extinción de incendios han demostrado que suelen estar expuestos a flujos de calor radiante de entre 5 y 10 kWm² (Rossi, 2003).

Carga postural

Se refiere al estrés fisiológico impuesto al cuerpo por el mantenimiento de posturas específicas durante el trabajo, o por la realización de movimientos repetitivos o forzados. Una carga postural inadecuada puede contribuir a la fatiga muscular y aumentar el riesgo de trastornos musculoesqueléticos (ISO 11226:2000, 2000; Groot, et al., 2019). Los bomberos forestales a menudo adoptan posturas incómodas y mantienen cargas estáticas mientras manejan herramientas o atraviesan terrenos difíciles, lo que incrementa su carga postural y el riesgo de fatiga (Vincent et al., 2018).

Sobrecarga térmica

Es la situación en la que el cuerpo acumula más calor del que puede disipar, lo que resulta en un aumento de la temperatura corporal central y una serie de respuestas fisiológicas y patológicas. Si no se controla, puede llevar al agotamiento por calor o al golpe de calor, condiciones potencialmente mortales (NIOSH, 2016; Sawka et al., 2011). Los bomberos forestales presentan un riesgo elevado de sobrecarga térmica debido a la combinación de alta producción de calor metabólico, exposición ambiental al calor y el uso de equipo de protección que dificulta la pérdida de calor (Sol et al., 2021).

Índice WBGT

Es un índice empírico de estrés térmico que integra los efectos de la temperatura del aire, la humedad, la velocidad del viento y la radiación solar en un único valor. Se utiliza ampliamente para evaluar el riesgo de estrés por calor en entornos laborales y deportivos y

para establecer límites de exposición seguros (ISO 7243:2017, 2017; Yaglou y Minard, 1957). Su aplicación es fundamental en la gestión de la seguridad de los bomberos forestales (ACGIH, 2017).

Determinación del factor de ajuste de la vestimenta

Los valores de referencia del WBGT están establecidos para trabajadores que usan ropa de trabajo de algodón. Si la vestimenta es diferente, especialmente si afecta la facilidad con la que el sudor se evapora, el riesgo de estrés térmico puede cambiar. En estos casos, el índice WBGT debe ajustarse para reflejar con precisión las condiciones.

Tabla 3

Factor de ajuste de la vestimenta

Vestimenta	Observaciones	CAVs (°C -WBGT)
Ropa de trabajo.	Ropa de trabajo confeccionada con material tejido. Es la vestimenta de referencia (camisa de manga larga y pantalones).	0
Mono de trabajo.	Confeccionado con tela, material tejido (por ejemplo, algodón).	0
Mono de trabajo confeccionado con material no tejido, tipo SMS, de una sola capa.	SMS: material fabricado mediante un proceso específico que sella (no teje) hilos de polipropileno. Transpirable.	0
Mono de trabajo confeccionado con material no tejido, de poliolefinas, de una sola capa.	Material patentado hecho de polietileno (por ejemplo, Tyvek®).	2
Delantal largo y de manga larga, sobre mono de trabajo, cuyo material de confección presenta resistencia al paso del vapor de agua.	Delantal de forma envolvente diseñado para proteger el cuerpo, frente a salpicaduras químicas, por delante y por los lados.	4
Doble capa de tejido.	Generalmente se refiere a mono convencional sobre la ropa de trabajo.	3
Monos cuyo material de confección presenta resistencia al paso del vapor de agua, sin capucha (una sola capa).	Su efecto depende de la humedad ambiental, pues dificultan la evaporación del sudor. En muchos casos el efecto puede ser menor que el que indica el CAV.	10 (ver nota)
Monos cuyo material de confección presenta resistencia al paso del vapor de agua, con capucha (una sola capa).	Su efecto depende de la humedad ambiental, pues dificultan la evaporación del sudor. En muchos casos el efecto puede ser menor que el que indica el CAV.	11 (ver nota)
Monos (sobre la ropa de trabajo) cuyo material de confección presenta resistencia al paso del vapor de agua, sin capucha.	-	12
Capucha (*).	Llevar capucha de cualquier tejido con cualquier conjunto de ropa.	+1

Nota: Elaborado por el investigador, con base a la NTP 1189.

Tabla 4*Metodología para el cálculo del índice WBGT*

1. Selección de las condiciones de trabajo más desfavorables.	Las mediciones se realizan en el momento del año en que es más probable que exista riesgo debido al estrés térmico: durante el período más caluroso (verano).
2. Obtención de los parámetros de medida.	Temperatura de globo (TG) Temperatura Húmeda Natural (THN) Temperatura seca del aire (TA)
3. Determinación de la tasa metabólica.	Para el cálculo del WBGT se utilizan valores basados en el trabajo continuo por niveles de esfuerzo físico, es decir, por actividad.
4. Cálculo del índice WBGT.	La medición en el exterior con carga solar se realizaría a través de la siguiente fórmula: $WBGT = 0,7 thn + 0,2 tg + 0,1 ta$
5. Determinación del factor de ajuste de la vestimenta (CAV).	En caso de que la vestimenta sea especialmente resistente a la evaporación, el riesgo de estrés térmico puede variar, por ello debe corregirse el índice WBGT con base a la tabla de la NTP 1189.
6. Determinación gráfica o mediante cálculo del índice WBGT máximo admisible en esa situación de trabajo (se le denomina índice WBGT de referencia, $WBGT_{ref}$).	Los CAV calculados en la anterior fase se añaden a los valores del WBGT para calcular el $WBGT_{eff}$, que representa una estimación de estrés térmico con la ropa real utilizada: $WBGT_{eff} = WBGT + CAV$
7. TLV's de la ACGIH.	Después de haber calculado el $WBGT_{ref}$, se puede establecer los periodos de descanso en trabajos con riesgo de estrés térmico a través del criterio de la ACGIH

Nota: Elaborado por el investigador, con base a la NTP 1189.

Características individuales

Son los factores personales que pueden modificar la respuesta de un individuo al estrés térmico y a la carga de trabajo. Incluyen la edad, el sexo, el nivel de aclimatación al calor, la condición física, el porcentaje de grasa corporal, el estado de hidratación y la presencia de condiciones médicas preexistentes (Havenith, 2001; NIOSH, 2016). Estas características son cruciales para entender la variabilidad en la tolerancia al calor y el riesgo de fatiga entre los bomberos forestales (McLellan et al., 2013).

Factores que influyen en el estrés térmico (temperatura ambiente, humedad relativa, radiación solar, velocidad del viento, epp forestal)

Temperatura ambiente: Es la temperatura del aire que rodea al individuo. Una temperatura elevada aumenta la ganancia de calor por convección y conducción (Parsons, 2014).

Humedad relativa: Es la cantidad de vapor de agua en el aire en relación con la cantidad máxima que podría contener a esa temperatura. Una alta humedad dificulta la evaporación del sudor, principal mecanismo de pérdida de calor del cuerpo (Havenith, 1999).

Radiación solar (y de otras fuentes): El cuerpo puede ganar una cantidad significativa de calor a través de la radiación directa del sol, del terreno caliente o de las llamas. Este es un factor crítico para los bomberos forestales (Kenny y Flouris, 2014).

Velocidad del viento: El viento puede aumentar la pérdida de calor por convección y evaporación si la temperatura del aire es inferior a la de la piel y la humedad no es demasiado alta. Sin embargo, con temperaturas muy altas, el viento puede aumentar la ganancia de calor (Parsons, 2014).

EPP forestal (Equipo de Protección Personal): Aunque es muy esencial para la protección contra lesiones y quemaduras, el EPP de los bomberos forestales que usualmente se trata de ropa ignífuga, cascos, guantes, botas, crea una barrera que limita la disipación del calor corporal, aumentando significativamente el riesgo de estrés térmico (Selkirk y McLellan, 2004).

Termometría ambiental

Se refiere a la medición de las variables ambientales que contribuyen al ambiente térmico, como la temperatura del aire -bulbo seco-, la temperatura de globo -para medir el calor radiante-, la temperatura de bulbo húmedo natural -para estimar la capacidad de enfriamiento por evaporación- y la velocidad del aire (ISO 7726:1998, 1998). Estas mediciones son esenciales para calcular índices como el WBGT y evaluar el riesgo de estrés térmico.

Termometría corporal

Implica la medición de la temperatura del cuerpo humano. La temperatura central o interna es un indicador crítico del estado térmico y se puede medir en el recto, el esófago, el tracto gastrointestinal, mediante píldoras ingeribles o el tímpano, con ciertas precauciones. La temperatura de la piel también proporciona información sobre los intercambios de calor con el ambiente (ISO 9886:2004, 2004; Taylor et al., 2014). El monitoreo de la temperatura corporal en bomberos forestales puede ayudar a prevenir episodios de sobrecarga térmica (Tanaka, 2024).

Afecciones a la salud por calor-estrés térmico

El estrés térmico en ambientes de altas temperaturas, como los que enfrentan el personal de bomberos forestales, representa un riesgo significativo para la salud y su rendimiento. La exposición prolongada a condiciones de calor extremo, combinada con el esfuerzo físico inherente a sus tareas, puede desencadenar una serie de dolencias fisiológicas que comprometen la seguridad y la eficacia operativa. Entre las consecuencias más inmediatas se encuentran:

La *deshidratación*, siendo la pérdida de líquidos superior a la que se ingiere.

Los *calambres por calor*, que son espasmos musculares comúnmente relacionado a la fatiga muscular y deshidratación.

El *agotamiento por calor*, que es una afectación moderada que se manifiesta por la dificultad para sostener el ritmo cardíaco, una sensación intensa de sed, debilidad general, mareos, desvanecimientos y cefalea.

El *golpe de calor* ya representa una afectación grave, la temperatura corporal central puede alcanzar los 40° C o más; los síntomas incluyen sensación de calor, piel enrojecida y seca, pulso acelerado, cefalea intensa, desorientación y posible pérdida del conocimiento. El organismo experimenta una inflamación interna que puede ocasionar daños en órganos como el hígado y los riñones, así como en otros tejidos (Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud-ISTAS, 2019).

Estas condiciones no solo afectan la capacidad física para realizar el trabajo, sino que también afecciones a nivel cognitivo, pudiendo llevar a una disminución de la concentración y el juicio, aumentando el riesgo de accidentes y errores críticos en situaciones de emergencia. Se ha observado que el calor intenso puede contribuir al desarrollo de problemas cardiovasculares y renales como la *rabdomiólisis*, que sucede cuando las fibras del músculo lesionado se liberan al torrente sanguíneo, y ciertos productos de esta degradación como mioglobina, alcanzan los riñones, provocando un daño renal agudo. Si no se recibe tratamiento, este proceso puede desencadenar un fallo multiorgánico que podría resultar mortal. (Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud-ISTAS, 2019).

Ventilación pasiva y activa usada en la rehabilitación de bomberos

La rehabilitación de bomberos, posterior a una exposición a ambientes extremos de calor, es crucial para prevenir el estrés térmico, y dos estrategias de enfriamiento son la ventilación activa y la ventilación pasiva. La ventilación pasiva implica la exposición del cuerpo a un ambiente de aire fresco sin ayuda mecánica, es decir permite que el aire más fresco circule alrededor del cuerpo del bombero, facilitando así la disipación de calor por convección; por ejemplo, simplemente quitarse el equipo de protección personal -EPP- en un área sombreada o con brisa permite que el aire fluya sobre la piel, acelerando la pérdida de calor. En tanto, la ventilación activa utiliza dispositivos mecánicos para forzar el movimiento del aire o aplicar frío directamente sobre el cuerpo del bombero, logrando una termorregulación más rápida y controlada. Esto incluye el uso de chalecos o mangas de enfriamiento, ventiladores portátiles de alto flujo, etc. La ventilación activa es particularmente eficaz en situaciones de riesgo alto de estrés por calor, ya que acelera significativamente la recuperación fisiológica y reduce el riesgo de colapso por agotamiento térmico, superando la velocidad de enfriamiento de los métodos pasivos (Selkirk et al., 2010).

Figura 1*Ventilación pasiva*

Nota. Extraído de <https://www.fireengineering.com/>

Figura 2*Ventilación activa: chaleco y mangas de enfriamiento*

Nota. Extraído de <https://www.fireengineering.com/>

Fatiga

Estado fisiológico o psicológico de disminución del estado de alerta, el rendimiento y la eficiencia debido al esfuerzo físico o mental prolongado, el descanso insuficiente o factores ambientales estresantes. Puede afectar las funciones cognitivas y físicas, aumentando los riesgos laborales (Fatigue Science, 2025).

Fatiga muscular

Se define como una disminución de la capacidad de un músculo para generar fuerza o potencia, resultante de la actividad física. Puede ser central, es decir originada en el sistema nervioso central, o periférica, originada en el músculo mismo (Gandevia, 2001). En el contexto de los bomberos, la fatiga muscular puede ser consecuencia del esfuerzo físico

prolongado, la deshidratación y el desequilibrio electrolítico, factores que pueden ser intensificados por el estrés térmico (Fullagar et al., 2022). El daño muscular inducido por el ejercicio también puede jugar un papel relevante, especialmente en condiciones de golpe de calor por esfuerzo (Li et al., 2021).

Para Gómez-Campos et al. (2010) la fatiga muscular se puede considerar como la disminución de la capacidad de un músculo para generar fuerza o mantener el esfuerzo, a menudo como resultado de una actividad física prolongada o intensa. Se ve influenciada por factores metabólicos, neuronales y ambientales, como el calor o la deshidratación.

Tipos de fatiga (aguda, crónica, periférica, central)

Fatiga aguda: Agotamiento temporal por actividad física o mental intensa, recuperable con un breve descanso. Común en tareas de alta intensidad, como la extinción de incendios forestales (UCM, s.f.).

Fatiga crónica: agotamiento persistente debido a estrés prolongado, recuperación inadecuada o esfuerzo repetitivo, a menudo vinculado a un esfuerzo excesivo ocupacional y en ocasiones es difícilmente reversible (UCM, s.f.).

Fatiga periférica: Fatiga muscular originada en las estructuras periféricas del cuerpo, especialmente en los músculos y órganos intervinientes en la actividad laboral, así como en los procesos fisiológicos que coadyuvan a dicha función. Esta forma de fatiga muscular se evidencia mediante signos clínicos como la inestabilidad en la tensión de las fibras musculares, el incremento en el tiempo de relajación por cambios bioquímicos en el tejido muscular y la reducción en la intensidad de las contracciones musculares, entre otros. Es decir, dependerá de la intensidad, la duración y el tipo de fibra muscular del ejercicio (Martínez, 2013).

Fatiga central: Fatiga originada en el sistema nervioso central, que reduce la actividad nerviosa muscular debido a factores como fallo en la activación neuronal, fallo en los neurotransmisores, factores psicológicos, etc.; esta fatiga se distingue por una disminución en la capacidad de contracción muscular, la cual no está directamente relacionada con aspectos mecánicos o metabólicos del propio músculo (Moreno, 2018).

Fuerza isométrica

Es la fuerza máxima que un músculo puede ejercer sin variar su longitud, medida durante contracciones estáticas, por ejemplo, al sujetar objetos. Es fundamental para tareas que requieren una sujeción sostenida, como el uso de herramientas de extinción de incendios (Gómez-Campos, 2010).

Carga de trabajo

Villa (2020) menciona que son las exigencias físicas y mentales impuestas por las tareas, cuantificadas por su intensidad, duración y frecuencia. Las cargas de trabajo elevadas en la extinción de incendios forestales aumentan el riesgo de fatiga y estrés térmico.

Tiempo de exposición

Es el tiempo que una persona está expuesta a factores de estrés ocupacional, por ejemplo, calor, esfuerzo físico, carga horaria, etc. La exposición prolongada sin descansos agrava la fatiga y la tensión térmica en los bomberos (Villa, 2020).

Efectos acumulativos durante la jornada laboral

Martínez (2013) indica que la acumulación progresiva de fatiga, estrés térmico y tensión musculoesquelética por tareas repetidas o exposición prolongada reduce el rendimiento y aumenta el riesgo de sufrir trastornos osteomusculares y psicosociales.

Efectos a la Salud por Fatiga Muscular

La fatiga muscular en entornos de alta exigencia física, como los que experimentan los bomberos forestales, es una condición que va más allá del cansancio. Se manifiesta como una disminución reversible de la capacidad del músculo para generar fuerza y potencia, impactando directamente la habilidad para ejecutar tareas físicas de manera segura (Gandevia, 2001). Esta condición no solo limita la capacidad para mover cargas o mantener posturas, sino que también afecta la coordinación motora fina y gruesa, lo que puede incrementar riesgos de tropiezos, caídas y la manipulación incorrecta de herramientas en situaciones críticas.

La fatiga prolongada o extrema puede llevar a una serie de afecciones que comprometen la integridad física y cognitiva. Entre ellas, se destaca un aumento de la vulnerabilidad a lesiones musculoesqueléticas, como esguinces, distensiones o incluso fracturas por estrés, debido a la reducción de la capacidad de los músculos para absorber impactos y mantener la estabilidad articular (Gandevia, 2001). Además, la fatiga muscular puede influir negativamente en el tiempo de reacción y la toma de decisiones, aumentando la probabilidad de errores en entornos dinámicos y peligrosos. En casos severos y prolongados, la fatiga extrema puede contribuir a la aparición de rabdomiólisis, especialmente cuando se combina con deshidratación o estrés térmico, comprometiendo la función renal y la salud general del individuo (García-Heras et al., 2024).

Medidas preventivas

Según, Fatigue Science (2025), son estrategias para mitigar la fatiga y el estrés térmico, incluidos descansos programados, EPP adecuado, monitoreo ambiental y capacitación de los trabajadores para reconocer los síntomas de fatiga.

Hidratación

Para Mantener una ingesta adecuada de líquidos para prevenir la deshidratación, que perjudica la función muscular, aumenta la fatiga y exacerba el estrés térmico en ambientes cálidos, como la extinción de incendios forestales (Moreno, 2016).

Nutrición

La nutrición se refiere al proceso mediante el cual el organismo obtiene y utiliza los nutrientes necesarios para mantener sus funciones vitales, el crecimiento y la reparación de tejidos (Whitney & Rolfes, 2017). En el contexto de los bomberos forestales, una dieta adecuada es crucial para sostener el rendimiento físico y mental durante actividades de alta demanda energética. Según el Committee on Military Nutrition Research y el Institute of Medicine (1993), una ingesta equilibrada de carbohidratos, proteínas y grasas, junto con una hidratación adecuada, mejora la resistencia y reduce la fatiga en condiciones extremas. La planificación nutricional debe adaptarse a las necesidades calóricas elevadas y al entorno de trabajo al aire libre.

Descanso

El descanso, entendido como el período de recuperación física y mental, es fundamental para prevenir el agotamiento y mantener el desempeño laboral. La Fundación Nacional del Sueño -National Sleep Foundation- destaca que los adultos requieren entre 7 y 9 horas de sueño por noche para un funcionamiento óptimo (Hirshkowitz et al., 2015). En los bomberos forestales, la falta de descanso, debido a turnos prolongados o interrupciones del sueño, incrementa el riesgo de errores y lesiones. Estrategias como pausas programadas y gestión de turnos son esenciales para mitigar la fatiga ocupacional (Patterson et al., 2014).

Dinámica del fuego

La dinámica del fuego se refiere al comportamiento y propagación del fuego en función de factores como el combustible, el oxígeno, el calor y las condiciones ambientales (Pyne, 2019). En incendios forestales, la dinámica está influenciada por la topografía, el tipo de vegetación y las condiciones meteorológicas, como la velocidad del viento y la humedad. Comprender estas variables es crucial para los bomberos forestales, ya que permite predecir el movimiento del fuego y diseñar estrategias de contención seguras y efectivas (Scott & Burgan, 2005).

Bombero Forestal

Es un profesional especializado en la prevención, detección y extinción de incendios en áreas rurales y de interfaz urbano-forestal. Su labor implica un alto grado de esfuerzo físico en terrenos a menudo irregulares y bajo condiciones ambientales adversas, incluyendo la exposición a altas temperaturas y humo. Además, los bomberos forestales enfrentan desafíos únicos, como la exposición a riesgos laborales, la necesidad de una nutrición adecuada y la importancia del descanso para mantener su eficacia; su formación incluye técnicas de manejo de herramientas, estrategias de supresión de incendios y protocolos de seguridad (International Association of Wildland Fire, 2020).

Proceso de permanencia y selección del personal de la BRIF-Pack Test

Para la fase de postulación, debe ser bombero de línea. En la evaluación médica, el departamento médico del CBDMQ gestionará la valoración médica y evaluación de exámenes ocupacionales. Para la prueba física, realizarán una prueba de capacidad física o Pack Test, misma que trata de una caminata de 4.8 km con una mochila de 45 libras de peso y deberá realizarlo en menos de 45 minutos (CBDMQ, 2025). Cabe indicar que el proceso de permanencia se realiza cada año a todo el personal de la BRIF del CBDMQ.

Incendio Forestal

Un incendio forestal, según el CBDMQ (2025), es un fuego incontrolado que se propaga por bosques, plantaciones u otros ecosistemas. Este puede ser provocado por la actividad humana o por causas naturales, y sus consecuencias incluyen daños ecológicos, económicos y sociales.

Clasificación de incendios forestales – Niveles

La clasificación de incendios forestales se ha ajustado considerando su nivel de riesgo, siguiendo la metodología de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos -SNGR-. Esta clasificación es crucial para decidir cuándo activar una Brigada de Respuesta para Incendios Forestales -BRIF-, considerando factores como el terreno y el clima (CBDMQ, 2025).

Tabla 5

Clasificación Niveles de Incendios Forestales en el CBDMQ.

NIVEL	M2 DE AFECTACIÓN
Nivel 1	0 – 20.000 m ²
Nivel 2	20.001 – 300.000 m ²
Nivel 3	300.001 en adelante

Nota: Elaborado por el investigador, con base a la fuente del CBDMQ.

Sistema de Seguridad en las Operaciones Forestales - Sistema OCES

Dentro de los sistemas de seguridad implementados en el CBDMQ se encuentra el sistema OCES; el sistema OCES es un enfoque integral de seguridad utilizado en las

operaciones forestales, especialmente en la mitigación de incendios, que abarca cuatro componentes clave: Observación, Comunicación, Rutas de Escape y Zonas de Seguridad. La *Observación* implica una vigilancia constante del entorno para identificar y evaluar riesgos, como cambios en las condiciones del fuego, el clima o el terreno, permitiendo a los bomberos forestales anticipar peligros y tomar decisiones informándolas al mando (Academia Nacional de Bomberos de Chile, 2020). La *Comunicación* es esencial para coordinar esfuerzos entre los equipos, garantizando que la información sobre riesgos, movimientos y estrategias se transmita de manera clara y efectiva, utilizando dispositivos como radios o señales visuales en áreas de difícil acceso (CAL FIRE, 2014). Este componente asegura que todos los miembros del equipo estén alineados y puedan responder rápidamente ante emergencias.

Las *Rutas de Escape* son recorridos predefinidos, tanto horizontales como verticales, que permiten a los bomberos evacuar de manera segura una zona de riesgo hacia un lugar seguro, como un punto de reunión para todo el personal interviniente. Estas rutas deben estar libres de obstrucciones, claramente señalizadas con flechas verdes y blancas, y se deberá contar con más de una ruta establecida (Academia Nacional de Bomberos de Chile, 2020). Por su parte, las *Zonas de Seguridad* son áreas designadas fuera de la zona de peligro, como plazas o espacios abiertos, donde los bomberos pueden reunirse tras la evacuación. Estas zonas deben ser amplias, visibles, accesibles y ofrecer protección contra factores ambientales, además, deberá reubicarse si la movilización hacia ese punto requiere de más de 6 minutos (CAL FIRE, 2014).

Figura 3

Sistema OCES

SISTEMA OCES	
O	Observación
C	Comunicación
E	Rutas de Escape
S	Zonas de Seguridad

Nota: Elaborado por el investigador.

Sistema de Seguridad en las Operaciones Forestales – Índice de Peligro de Propagación de Incendios Forestales [IPPIF]

Los criterios de seguridad para la evacuación del personal en incendios forestales son fundamentales para proteger a los bomberos forestales frente a riesgos como el estrés térmico, especialmente en condiciones de alta intensidad de fuego; el CBDMQ ha optado por adaptar de forma referencial y operativa uno de los métodos ampliamente utilizados para evaluar la necesidad de evacuación, el Índice de Peligro de Propagación de Incendios Forestales -IPPIF-, desarrollado por Rodríguez y Moretti (1988), que integra variables como la velocidad del viento, la pendiente del terreno, el tipo de vegetación y la humedad relativa. Este índice clasifica el riesgo en niveles bajo, moderado, alto, muy alto y extremo, y establece umbrales para la toma de decisiones operativas, incluyendo la evacuación. Según este modelo, cuando el IPPIF alcanza niveles altos o extremos, los bomberos deben priorizar la evacuación hacia rutas de escape predefinidas y zonas de seguridad, ya que las condiciones de propagación rápida del fuego incrementan significativamente el riesgo de atrapamiento y exposición al calor extremo (Rodríguez y Moretti, 1988).

Tabla 6

Tablas del Índice de Peligro de Propagación de Incendios Forestales-Rodríguez y Moretti.

Temperatura	Índice
Menos de 10	2.5
10 a 11.9	5
12 a 13.9	7.5
14 a 15.9	10.5
16 a 17.9	12
18 a 19.9	15.5
20 a 21.9	17.5
22 a 23.9	20
24 a 25.9	22.5
26 o más	25

Humedad %	Índice
80 o más	2.5
79 a 75	5
74 a 70	7.5
69 a 65	10.5
64 a 60	12.5
59 a 55	15
54 a 50	17.5
49 a 45	20
44 a 40	22.5
39 o menos	25

Velocidad del viento (km/h)	Índice
Menos de 3	1.5
3 a 5.9	3
6 a 8.9	4.5
9 a 11.9	6
12 a 14.9	7.5
15 a 17.9	9
18 a 20.9	10.5
21 a 23.9	12
24 a 26.9	13.5
27 o más	15

Días consecutivos sin lluvia	Índice
1	3.5
2 a 4	7
5 a 7	10.5
8 a 10	14
11 a 13	17.5
14 a 16	21
17 a 19	24.5
20 a 22	28
23 a 25	31.5
26 en más	35

De acuerdo con cada variable, se le es asignado una ponderación con base a diferentes rangos y la suma total determina el índice de peligro como se detalla a continuación.

Índice Total	Nivel de Peligro de Propagación de Incendios Forestales
0 - 24	Leve
25 - 49	Moderado
50 - 74	Alto
75 - 100	Extremo

Nota: Elaborado por el investigador, con base a la fuente del CBDMQ.

La evacuación debe ejecutarse bajo el marco del sistema OCES: Observación, Comunicación, Rutas de Escape y Zona de Seguridad; complementado con herramientas como el IPPIF. Estos criterios garantizan que los bomberos forestales evacúen de manera oportuna, minimizando riesgos asociados al estrés térmico y otros peligros inherentes a incendios forestales.

Equipo de protección personal forestal según NFPA 1977

Ropa y equipo especializado como, por ejemplo, chaquetas, cascos y botas ignífugas, diseñado para bomberos forestales que los protege contra el calor, las llamas y los riesgos físicos, minimizando al mismo tiempo la carga térmica (NFPA, 2022).

Una particularidad en los EPP's a considerar es la capacidad de protección térmica y la capacidad de transpiración de dichos trajes, por cuanto ambas características son inversamente proporcionales y estas ayudan a minimizar el riesgo por estrés térmico en el personal de bomberos forestales. El Thermal Protective Performance -TPP- y el Total Heat Loss -THL- son propiedades esenciales de los equipos de protección personal utilizados por los bomberos forestales, diseñados para equilibrar la protección térmica y la comodidad frente al estrés térmico, conforme a la norma NFPA 1977, que regula específicamente los EPP para incendios forestales.

El -TPP- mide la capacidad de aislamiento térmico del EPP frente a exposiciones de alta intensidad, como llamas o calor radiante, y se expresa en cal/cm^2 . Según la NFPA 1977, el valor mínimo de TPP de 35 equivale a 17.5 segundos de protección antes de que se produzca una quemadura de segundo grado en condiciones extremas, aunque valores de 41 o superiores son recomendados en entornos forestales para una mayor seguridad. Sin embargo, se debe de considerar que un TPP elevado podría aumentar el peso del EPP, reduciendo la movilidad y contribuyendo al estrés térmico, lo que incrementa el riesgo de fatiga y golpe de calor durante operaciones prolongadas (NFPA, 2022). De acuerdo con las especificaciones técnicas obtenidas de los EPP's que se utilizan en el CBDMQ para incendios forestales tienen un TPP de 41.

El -THL-, por su parte, evalúa la capacidad de los EPP para disipar el calor y el vapor de agua generado por el cuerpo, conocida como -transpirabilidad-, y se mide en W/m^2 . La norma NFPA 1977 establece un valor mínimo de $205 \text{ W}/\text{m}^2$, pero investigaciones sugieren que un THL superior a $220 \text{ W}/\text{m}^2$ mejora significativamente la comodidad térmica, facilitando la evaporación del sudor y la regulación de la temperatura corporal (NFPA, 2022). Esto es crucial para reducir el estrés térmico en bomberos forestales, quienes enfrentan altas temperaturas ambientales y esfuerzos físicos intensos.

La relación inversa entre TPP y THL representa un desafío: un TPP alto puede disminuir el THL, afectando la transpirabilidad. Estudios indican que el uso prolongado de EPP con THL inadecuado puede aumentar el metabolismo y la temperatura corporal central, incrementando riesgos de salud como estrés térmico (Ghiyasi et al., 2020). Optimizar el equilibrio entre TPP y THL, según las especificaciones de la NFPA 1977, es fundamental para garantizar la seguridad y minimizar el estrés térmico en operaciones forestales.

Casco Forestal NFPA 1977

Es un casco que deberá cumplir con las especificaciones que detalla la norma NFPA 1977, deberá proteger al calor radiante y convectivo, caída de objetos, soportar impactos verticales, soportar a la penetración de objetos afilados; deberá ser de un color de alta visibilidad, contar con un sistema de absorción de energía al impacto, barboquejo, compatible con gafas de protección y nuquera ignífuga (NFPA, 2022).

Figura 4

Casco forestal con accesorios



Nota: Imagen tomada de Bullard.

Monja o Hood

La monja o Hood deberá proteger la cabeza, cuello y orejas de las llamas y del calor radiante y convectivo; puede ser fabricado en PBI o Nómex, deberá minimizar la exposición de piel, permitir comunicación y no obstruir la visión y debe ser cómodo para usar en periodos prolongados (NFPA, 2022).

Figura 5*Monja o Hood*

Nota: Imagen tomada de Protonfire.

Ropa interior ignífuga

Se trata de una ropa que se utiliza como primera capa y protege tanto el tronco, extremidades superiores e inferiores, deberá ser de material ligero, resistente a la llama y al calor radiante y convectivo; no debe generar gota en su punto de fusión. Confeccionada en PBI, Nómex o fibras sintéticas ignífugas (NFPA, 2022).

Figura 6*Interior ignífugo forestal*

Nota: Imagen tomada de Kontagk.

Chaqueta Forestal

La chaqueta forestal brinda protección contra las llamas, calor radiante y convectivo, y a la abrasión al torso. Deberá estar confeccionada con materiales resistentes como PBI o Nómex y que no formen gota en su punto de fusión, debe permitir la transpiración para la termorregulación, se incluirá cintas reflectivas de alta visibilidad, deberá ser ergonómico para

generar movimientos de tareas exigentes y tener bolsillo de fácil acceso con cierres (NFPA, 2022).

Figura 7

Chaqueta forestal



Nota: Imagen tomada de Vallfirest.

Pantalón Forestal

El pantalón forestal brinda protección contra las llamas, calor radiante y convectivo, y a la abrasión a las extremidades inferiores. Deberá estar confeccionada con materiales resistentes como PBI o Nómex y que no formen gota en su punto de fusión, debe permitir la transpiración para la termorregulación, se incluirá cintas reflectivas de alta visibilidad, deberá ser ergonómico para generar movimientos de tareas exigentes, tener bolsillo de fácil acceso con cierres e incluir refuerzos en zonas de desgaste como rodillas (NFPA, 2022).

Figura 8

Pantalón forestal



Nota: Imagen tomada de Vallfirest.

Botas Forestales

Las botas forestales deben brindar protección, soporte y tracción en terrenos irregulares y evitar torsión en tobillos. Deberán ser resistentes a las llamas y a la penetración de objetos punzantes; deben estar construidas en un material que resista a la abrasión y desgaste; tener suelas antideslizantes y punteras reforzadas; deben ser cómodas para uso intensivo; cumplir con la norma de resistencia al corte de cadena de motosierra y perforación (NFPA, 2022).

Figura 9

Botas forestales



Nota: Imagen tomada de Fal.

Guantes Forestales

Los guantes forestales deben proteger las manos de quemaduras, cortes, abrasiones, y punciones. Deberán permitir la manipulación de herramientas y equipos. Deben ser de material ignífugo y no generar gota en su punto de fusión; debe permitir tareas de manipulación finas y un ajuste seguro (NFPA, 2022).

Figura 10

Guantes forestales



Nota: Imagen tomada de FEM S.A.

Equipos, Herramientas y Accesorios para el combate de incendios forestales

Incluyen pulaskis, palas, rastrillos, sopletes de goteo, mochilas y bombas portátiles para controlar incendios forestales. Estas herramientas requieren un esfuerzo físico considerable, lo que podría contribuir a la fatiga muscular (Vallfirest, 2023).

Mochila Forestal

Mochila diseñada para transportar suministros como agua poder trabajar en largos periodos. Deberán ser ergonómicas con hombreras y cinturón lumbar; elementos reflectantes; compatible para transportar herramientas, raciones, botiquín de primeros auxilios, etc. Deberán ser resistentes a la abrasión y al calor radiante convectivo (Vallfirest, 2023).

Figura 11

Mochila forestal



Nota: Imagen tomada de Vallfirest.

Refugio Forestal

Un refugio forestal está diseñado para salvaguardar la vida del combatiente forestal en casos extremos por atrapamiento de un incendio forestal. Brinda protección a la llama, calor radiante y convectivo; está elaborado en lámina de aluminio, fibra de vidrio y tecstar, con un peso de 1.35 kg (Vallfirest, 2023).

Figura 12*Refugio forestal*

Nota: Imagen tomada de Vallfirest.

Radio de Comunicación Portátil

Es un equipo que permite la comunicación y el intercambio de información. Deberá ser resistente a golpes y polvos, impermeable -IPX68-, con baterías de larga duración; con botón de emergencia, posicionamiento global y compatible con accesorios (Motorola Solutions, 2025).

Figura 13*Radio portátil de comunicación*

Nota: Imagen tomada de Motorola Solutions.

NFPA 1580 Norma sobre el Programa de Salud y Bienestar Ocupacional para el Personal de Respuesta a Emergencias

Una norma que describe programas para promover la salud física y mental, incluyendo la aptitud física, las evaluaciones médicas y el manejo del estrés para el personal de emergencias, como los bomberos (NFPA, 2025).

NFPA 1584 Norma sobre el Proceso de Rehabilitación de los Integrantes durante las Operaciones de Emergencia y los Ejercicios de Entrenamiento

Norma que especifica los protocolos de descanso, hidratación, nutrición y monitoreo médico durante operaciones de emergencia para controlar la fatiga y el estrés térmico (NFPA, 2022).

Instrumentos de medición

NTP 1189: Evaluación del riesgo de estrés térmico: Índice WBGT.

Nota técnica que proporciona directrices para evaluar el estrés térmico mediante el índice de Temperatura de Globo y Bulbo Húmedo (WBGT), misma que considera la temperatura, la humedad y la radiación. Incluye umbrales para tiempos de trabajo seguros (INSST, 2023).

Test de Yoshitake

Herramienta subjetiva para evaluar la fatiga laboral percibida mediante preguntas sobre síntomas físicos, mentales y sensoriales, ampliamente utilizada en estudios de salud ocupacional; se clasifica en tres categorías: fatiga tipo A, sensación de somnolencia o estado de alerta, fatiga tipo B, disminución de la motivación, y fatiga tipo C, fatiga muscular (Yoshitake, 1978).

Instrumento de fuerza isométrica de agarre de la ACSM

La fuerza de presión manual -FPM- es una forma sencilla, fiable y segura de evaluar la salud general, se mide utilizando un dispositivo portátil, como un dinamómetro, que evalúa la fuerza máxima de los músculos flexores de los dedos. Esta medición es crucial porque la fuerza de presión está directamente relacionada con la capacidad de realizar tareas que requieren agarre y aplicación de fuerza. Por estas razones, es una herramienta comúnmente utilizada en la medicina, el deporte y para monitorear la salud de grandes grupos de personas (Tomkinson, G. y Nevill, A., 2021).

2.1.3 Teorías que respaldan el estudio

Teoría de la Termorregulación: El cuerpo humano intenta mantener una temperatura interna estable, aproximadamente 37°C. Cuando la producción de calor sea esta metabólica

o por fuentes externas, excede la capacidad de disipación, la temperatura corporal aumenta, desencadenando mecanismos de enfriamiento como la sudoración y la vasodilatación cutánea. Si estos mecanismos son insuficientes o se ven obstaculizados, por ejemplo, por el EPP o la alta humedad ambiental, se produce el estrés térmico (Parsons, 2014). Esta teoría es fundamental para entender cómo el entorno y la actividad de los bomberos forestales pueden llevar a una acumulación peligrosa de calor.

Teoría del Límite Crítico de Temperatura Central: Sugiere que la fatiga o el cese del ejercicio en ambientes calurosos pueden ocurrir cuando la temperatura central del cuerpo alcanza un umbral crítico, aproximadamente 39.5-40°C, independientemente de otros factores (Nybo y Nielsen, 2001). Alcanzar esta temperatura puede afectar la función del sistema nervioso central y, por lo tanto, la capacidad de contracción muscular y el rendimiento físico.

Modelo de Agotamiento de Sustratos: La fatiga puede ocurrir debido al agotamiento de las reservas energéticas en el músculo, como el glucógeno (Bergström et al., 1967). El estrés térmico puede acelerar el metabolismo y el uso de glucógeno, contribuyendo a una aparición más temprana de la fatiga.

Modelo de Acumulación de Metabolitos: La acumulación de subproductos metabólicos, por ejemplo, iones de hidrógeno, lactato, fosfato inorgánico, entre otros, dentro de las fibras musculares puede interferir con los procesos contráctiles y enzimáticos, llevando a la fatiga (Fitts, 1994). El estrés térmico puede alterar el flujo sanguíneo muscular y la eliminación de estos metabolitos.

Modelo de Fatiga Central: Implica que el sistema nervioso central reduce la activación neuronal a los músculos, incluso antes de que los límites fisiológicos periféricos se alcancen; es decir, la fatiga muscular no solo reside solo en el músculo. Factores como la hipertermia, la percepción del esfuerzo y el estado psicológico pueden influir en la fatiga central (Gandevia, 2001). El malestar asociado al estrés térmico puede contribuir significativamente a este tipo de fatiga.

2.1.4 Investigaciones previas y su relación con el problema

Diversos estudios han abordado los riesgos laborales de los bomberos, incluyendo el estrés térmico y la fatiga, aunque la interrelación específica en bomberos forestales es un área que sigue requiriendo atención.

Un reciente estudio de Games (2020), demostró que la ejecución de ejercicio en condiciones de calor redujo el equilibrio funcional, elevó la temperatura central y modificó la percepción del esfuerzo en comparación con otras situaciones experimentales en un grupo de bomberos. Una sesión de actividad física en un entorno cálido y húmedo provocó un aumento en la temperatura central, similar al registrado en personas activas físicamente, y tuvo un impacto negativo en los indicadores de equilibrio funcional. Más que una situación aislada, el ejercicio y el estrés térmico parecieron interactuar, incrementando el riesgo de resbalones, tropiezos y caídas. A pesar de su entrenamiento, los bomberos profesionales reportaron niveles elevados de esfuerzo percibido al ejercitarse en ese tipo de ambientes.

Otro estudio acentúa el sobreesfuerzo y el estrés térmico como elementos correlacionados y cruciales en el servicio de bomberos y subraya la necesidad de comprender cómo estos factores combinados afectan la salud y el rendimiento. La identificación de factores que contribuyen a la tensión térmica en bomberos revela que el EPP, la intensidad del trabajo y las condiciones ambientales son determinantes claves para que se genere un estrés térmico; estos hallazgos son extrapolables en gran medida a los bomberos forestales, quienes también operan con EPP en entornos calurosos y acarrear un sobreesfuerzo durante sus operaciones (Rodríguez-Marroyo, 2012).

De manera similar, un estudio sobre las respuestas fisiológicas y rendimiento de bomberos usando ropa protectora en diversos entornos de entrenamiento y condiciones de actividad enfatiza cómo el EPP exagera la carga térmica y disminuye la movilidad. El estrés térmico por esfuerzo es especialmente preocupante si se considera que casi el 75 % de los bomberos experimentan síntomas de lesiones por calor en un año calendario (Agostinelli, et al., 2024).

Además, Vincent (2018), en su investigación expone que, el descanso de los bomberos se ve limitado durante las labores en incendios forestales, particularmente cuando los turnos inician muy temprano, se extienden por muchas horas o deben pernoctar en

alojamientos temporales. La disminución del sueño afecta negativamente tanto el desempeño cognitivo como el físico, por ello, siempre que sea factible, los turnos de trabajo deberían organizarse de manera que incluyan pausas regulares y períodos adecuados de descanso entre jornadas, especialmente en contextos laborales de alto riesgo, donde los errores provocados por la fatiga pueden tener consecuencias graves.

En este sentido, las prácticas de enfriamiento ocupacional de los socorristas en emergencias en los Estados Unidos han sido objeto de encuestas para comprender su adopción y efectividad; teniendo que, ciento dieciocho departamentos de bomberos informaron que el estrés térmico era un riesgo para la seguridad de los empleados durante las tareas ocupacionales y que las mayores barreras para el enfriamiento del personal fueron las siguientes: disponibilidad, costo, logística y conocimiento (Bach et al., 2018).

Otra investigación, Fullagar et al. (2022) han evaluado estrategias de enfriamiento específicas, demostrando sus efectos beneficiosos sobre los resultados fisiológicos, físicos y visomotores tras tareas de extinción en calor; el principal hallazgo fue una disminución de la temperatura central tras aplicar un protocolo de recuperación, así como una disminución de la frecuencia cardíaca y la presión arterial después de utilizar protocolos de recuperación.

La aclimatación al calor también se ha propuesto como una medida preventiva, mostrando reducción del estrés térmico y mejora de la sensación y confort térmico durante el ejercicio con trajes de extinción. Menciona que, un programa de aclimatación al calor, implementado en estaciones de bomberos durante su jornada diaria, con bomberos que usan ropa de aislamiento térmico, redujo el estrés térmico, mejoró la respuesta termorreguladora y mejoró la sensación térmica y el confort durante el ejercicio con un traje de extinción de incendios (Takeda et al., 2019).

Desde una perspectiva fisiológica, se ha demostrado que el estrés térmico inducido por el ejercicio altera la relación entre el cizallamiento vascular y la dilatación, lo que podría tener implicaciones en la perfusión muscular y, por ende, en la fatiga. El estrés térmico aumenta la tensión cardiovascular y es de imperativa preocupación en ocupaciones, como el combate de incendios, en las que las personas deben realizar trabajos extenuantes mientras usan equipo de protección personal. Los eventos cardíacos repentinos se asocian con la actividad extenuante y son la principal causa de muerte relacionada con el deber entre los

bomberos, lo que representa aproximadamente el 50% de las muertes relacionadas con el deber por año (Ives et al., 2016).

Más directamente, se ha investigado el papel potencial del daño muscular inducido por el ejercicio en el golpe de calor por esfuerzo, sugiriendo una conexión entre el daño muscular, la respuesta inflamatoria y la termorregulación alterada. El golpe de calor por esfuerzo se observa con frecuencia en condiciones no compensables, cuando el cuerpo es incapaz de mantener un equilibrio térmico estable, como resultado del estrés térmico intenso y la contracción muscular asociados a actividades físicas y ocupacionales prolongadas y extenuantes, lo que provoca disfunción del sistema nervioso central, seguida de daño e insuficiencia multiorgánica (Li et al., 2021).

El rendimiento funcional de los bomberos tras la exposición a condiciones ambientales y ejercicio también ha sido estudiado, mostrando cómo estos factores pueden mermar la capacidad operativa (Games et al., 2020). Investigaciones sobre factores de riesgos asociados al entrenamiento con fuego real han identificado la acumulación de estrés térmico y fatiga, así como la importancia de la recuperación, descansos largos y los microdescansos los cuales ayudan a prevenir el estrés térmico y la fatiga (Mani et al., 2013). Además, se han analizado indicadores de estrés psicológico, físico y térmico antes y después de tareas de extinción; los bomberos con puntuaciones más bajas de razonamiento lógico, velocidad y precisión fueron más propensos a sufrir mayor fatiga y menor capacidad cognitiva debido al aumento de la temperatura corporal y el estrés térmico (Canetti et al., 2022).

Cuenca-Lozano (2023) realiza una revisión sistemática de los riesgos laborales en la lucha contra incendios en donde se consolida la evidencia sobre la multiplicidad de peligros a los que se enfrentan estos profesionales, donde el estrés térmico y la fatiga ocupan un lugar preponderante; además, se menciona la relación entre el síndrome de burnout, la fatiga cognitiva y la fatiga física como efectos adversos para la salud y el rendimiento.

En el ámbito específico para bomberos forestales españoles, nos encontramos con un análisis descriptivo de lesiones laborales que ofrece un contexto sobre los tipos de lesiones más comunes, donde la fatiga muscular podría ser un factor contribuyente o una consecuencia del estrés térmico (García-Heras et al., 2024). Finalmente, la innovación en el diseño de la ropa de protección es un área de investigación activa, buscando aliviar el estrés térmico sin

comprometer la seguridad; por ejemplo, la reducción en las medidas de la holgura interna de los equipos de protección lo cual mejoraría la pérdida de calor y la seguridad en el personal de bomberos (Riedy et al., 2019).

Las investigaciones previas confirman de manera consistente que el estrés térmico es un riesgo significativo para los bomberos, incrementado por el EPP y la naturaleza extenuante de su trabajo (Horn et al., 2019; Riedy et al., 2024; Xu et al., 2025). Si bien muchos estudios se centran en bomberos estructurales, los principios fundamentales del estrés térmico y sus consecuencias fisiológicas son aplicables a los bomberos forestales, quienes enfrentan desafíos adicionales como terrenos irregulares y exposición prolongada.

La literatura también establece un vínculo entre el estrés térmico y la fatiga, ya sea a través de mecanismos fisiológicos directos como la alteración de la función vascular (Ives et al., 2016) o el daño muscular (Li et al., 2021), o mediante la afectación del rendimiento funcional general (Canetti et al., 2022). Las percepciones de los propios bomberos (Fullagar et al., 2021) y los estudios sobre acumulación de fatiga en entrenamientos (Horn et al., 2019) refuerzan esta conexión que se pretende demostrar en esta investigación.

Aunque existen estudios sobre lesiones en bomberos forestales (García-Heras et al., 2024) y sobre estrategias de mitigación como el enfriamiento (Fullagar et al., 2022; Bach et al., 2018) o la aclimatación (Takeda et al., 2019), la investigación actual carece de un análisis profundo y específico sobre cómo el estrés térmico se relaciona directamente con los diferentes tipos y manifestaciones de fatiga muscular como la central, periférica, disminución de fuerza, resistencia, etc.; en el contexto particular de los bomberos forestales durante operaciones a una altura mayor a 2000 msnm. La mayoría de los estudios abordan la fatiga de manera general o como un síntoma del estrés térmico, pero no exploran en detalle los mecanismos subyacentes de la fatiga muscular específica bajo estas condiciones.

Por lo tanto, la presente investigación busca llenar este vacío al examinar de forma más precisa la naturaleza y magnitud de la relación entre la exposición al estrés térmico y el desarrollo de fatiga muscular en bomberos forestales. Esto permitirá no solo comprender mejor los riesgos fisiológicos a los que se enfrentan, sino también informar el desarrollo de estrategias de prevención, mitigación y recuperación más efectivas y específicas para esta población crítica.

2.2 Marco legal

Esta investigación se fundamenta en la Legislación Nacional e Internacional como:

Constitución de la República del Ecuador 2008

La Asamblea Nacional de la República del Ecuador (2008) estableció en la Constitución de la República en su Artículo 326, numeral 5, el derecho de los trabajadores a laborar en un ambiente seguro y saludable, libre de riesgos que afecten su integridad física o mental. Este precepto reconoce la obligación del Estado y de los empleadores de implementar medidas para prevenir accidentes y enfermedades ocupacionales, lo que incluye riesgos como el estrés térmico y la fatiga muscular en profesiones de alto riesgo como los bomberos.

Instrumento Andino de Seguridad y Salud en el Trabajo 2004 - Decisión 584

El Instrumento Andino de Seguridad y Salud En El Trabajo 2004 - Decisión 584, establece que los países miembros deben fomentar la mejora de las condiciones de salud y seguridad laboral para evitar daños físicos y mentales relacionados con el trabajo. También reconoce el derecho de los trabajadores a un ambiente laboral que les permita desarrollar sus actividades de manera óptima y segura (Comunidad Andina, 2004).

En su artículo 11, señala que, en cualquier entorno laboral, es imperativo implementar acciones dirigidas a mitigar los riesgos inherentes al puesto. Estas iniciativas deben fundamentarse en sistemas de gestión de seguridad y salud ocupacional que, a su vez, reflejen la responsabilidad social y empresarial de la organización (Instrumento Andino de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2004).

En su artículo 18, menciona que, todo trabajador tiene derecho a desempeñar sus funciones en un ambiente laboral que promueva y asegure su salud, seguridad y bienestar, permitiendo el desarrollo óptimo de sus capacidades físicas y mentales (Instrumento Andino de Seguridad y Salud En El Trabajo, 2004).

En su artículo 19, indica que, es un derecho fundamental de los empleados recibir información clara sobre los peligros inherentes a las tareas que ejecutan (Instrumento Andino de Seguridad y Salud En El Trabajo, 2004).

Código del Trabajo 2005

Según el Código del Trabajo (2005), menciona que, en su artículo 42 obliga a que los empleadores mantener lugares de trabajo que cumplan con normativas de seguridad e higiene laboral. Además, en su artículo 347 define los riesgos laborales como eventos perjudiciales a los que los trabajadores están expuestos debido a su ocupación, incluyendo enfermedades y accidentes laborales. Por otro lado, el artículo 349 nos describe las enfermedades ocupacionales como aquellas que resultan directamente del trabajo y que causan una incapacidad en el trabajador.

Ley Orgánica de Servicio Público - LOSEP

De acuerdo con la Ley Orgánica de Servicio Público (2011), las instituciones deben proporcionar un entorno laboral adecuado para el personal, garantizando el bienestar físico, mental, social, bienestar e higiene de los servidores públicos (Ley Orgánica de Servicio Público, 2011, Artículo 23).

Decreto Ejecutivo 255 – Reglamento de Seguridad e Higiene en el Trabajo

Según el Decreto Ejecutivo 255 - Reglamento de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2024) establece en su Artículo 2 que, el reglamento de seguridad e higiene en el trabajo es de cumplimiento obligatorio en todo el país, aplicándose tanto a sectores públicos como privados, incluidas las Fuerzas Armadas y organismos de seguridad ciudadana y orden público.

Acuerdo Ministerial MDT-2024-196. Normas Generales para el cumplimiento y control de las obligaciones laborales de los empleadores públicos y privados en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo

El presente Acuerdo Ministerial tiene como objetivo principal regular la gestión del personal técnico en seguridad e higiene del trabajo, así como el proceso de registro y habilitación de los servicios externos en esta materia. Adicionalmente, establece las obligaciones, el procedimiento de inspecciones y las sanciones relacionadas con la seguridad y salud en el ámbito laboral (Acuerdo Ministerial MDT-2024-196, 2024).

En el Acuerdo Ministerial MDT-2024-196 (2024) en su artículo 4, numeral 2, señala que, una obligación del empleador es la identificación y evaluación de peligros y riesgos laborales de forma inicial y periódica. Esto se hace con el propósito de implementar medidas de prevención y protección adecuadas, siguiendo la jerarquía de control de riesgos: eliminación, sustitución, controles de ingeniería, controles administrativos y controles sobre el trabajador. Asimismo, estipula la necesidad de realizar mediciones precisas de agentes biológicos, físicos o químicos presentes en el ambiente de trabajo, utilizando equipos calibrados y certificados, y aplicando metodologías técnicas reconocidas.

Anexo 3: Norma Técnica de Seguridad e Higiene del Trabajo

Este documento complementa el Acuerdo Ministerial Nro. MDT-2024-196 y el Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo -Decreto Ejecutivo Nro. 255-. Su propósito es establecer las directrices técnicas para la seguridad y la prevención de riesgos laborales en todos los centros de trabajo. Es importante destacar que sus disposiciones aplican también a empleadores que operen simultáneamente en un mismo lugar, quienes tienen la responsabilidad de colaborar en la implementación de las medidas de seguridad, sin eximir a cada empleador de su obligación individual de proteger a sus propios trabajadores (Ministerio del Trabajo del Ecuador, 2024).

Resolución C.D. 513 - Reglamento del Seguro General de Riesgos del Trabajo

De acuerdo con la Resolución C.D. 513 (2017), el Seguro General de Riesgos del Trabajo ampara tanto al afiliado como al empleador a través de un enfoque integral. Este sistema incluye programas de prevención de riesgos laborales, así como acciones para reparar los daños causados por accidentes de trabajo o enfermedades ocupacionales, abarcando la rehabilitación física, mental y la reinserción laboral. En el ámbito preventivo, el Seguro integra medidas destinadas a evitar o mitigar los riesgos en todas las etapas del proceso productivo, siempre en consonancia con la normativa legal vigente y los convenios internacionales ratificados por el Estado.

NTP 1189: Evaluación del riesgo de estrés térmico: Índice WBGT.

Esta Nota Técnica de Prevención nos brinda la metodología para cuantificar el riesgo de estrés térmico, la cual se basa en el índice WBGT, conforme a lo establecido en la norma

UNE EN ISO 7243:2017 Ergonomía del ambiente térmico: Evaluación del estrés al calor utilizando el índice WBGT -temperatura de bulbo húmedo y de globo-. Es imperativo indicar que este método constituye una estimación preliminar, no un cálculo exacto, y su aplicación permite determinar las acciones preventivas adecuadas. Esta NTP actualiza a la NTP 322 (INSST, 2023).

NFPA 1584 Norma sobre el Proceso de Rehabilitación de los Integrantes durante las Operaciones de Emergencia y los Ejercicios de Entrenamiento

Esta normativa establece los criterios mínimos para la implementación de procesos de rehabilitación, control de la contaminación y recuperación de personal después de operaciones en el lugar del incidente y durante los entrenamientos. Su alcance es amplio, aplicando a organizaciones que prestan servicios de emergencia como rescate, extinción de incendios, atención médica de emergencia, manejo de materiales peligrosos y otras operaciones especiales. Esto incluye a los departamentos de bomberos, sean públicos, militares, privados o industriales (NFPA, 2022).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque investigación

Para el trabajo de investigación optó por un enfoque cuantitativo debido a que se realizó una recolección de datos mediante observaciones, encuesta y mediciones, tanto de la variable independiente como la variable dependiente, para de esta manera comprobar una correlación o inferencia de estas en una población de bomberos.

3.2 Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo básica por cuanto se planteó un proceso hipotético deductivo en el que se propuso hallar la influencia de la variable dependiente e independiente y poder comprobar la vigencia de las teorías científicas como la teoría de la termorregulación (Parsons, 2014), la teoría del límite crítico de temperatura central (Nybo y Nielsen, 2001), la del modelo de agotamiento de sustratos (Bergström et al., 1967), y la del modelo de fatiga central (Gandevia, 2001).

3.3 Diseño de investigación

El presente estudio fue una investigación de diseño no experimental, descriptivo, observacional y correlacional de corte transversal (Hernández Sampieri, 2014); todo esto, por cuanto no se manipularon deliberadamente las variables, se destacó las características más relevantes del problema, se calcularon frecuencias relativas y prevalencias, finalmente el grado de exposición fue inferenciado en virtud de la variable dependiente y los datos fueron obtenidos en un solo momento de la vida de los participantes.

3.4 Descripción del área de estudio

3.4.1 Población y muestra

El Cuerpo de Bomberos del Distrito Metropolitano de Quito, es una institución pública con 81 años de asistencia a la comunidad quiteña y que se ha convertido en un referente de prestación de servicios para las demás instituciones del país desde su fundación, el 1 de abril de 1944. Los servicios institucionales que ofrece el CBDMQ en Gestión de Operaciones, Formación y Profesionalización, Vinculación con la Comunidad, Aviación de Bomberos y Dirección de Prevención del Fuego. Dentro de la Gestión de Operaciones se encuentran las 26 estaciones que cuenta la institución distribuida en todo el Distrito

Metropolitano con alrededor de 1000 servidores operativos y divididos en las diferentes especialidades (CBDMQ, 2023).

La Brigada de Incendios Forestales del CBDMQ, fundada en 1999, es la encargada de combatir y extinguir incendios forestales en el Distrito Metropolitano de Quito. Para ello, cuenta con personal altamente capacitado y equipamiento de última generación, asegurando un servicio de alta calidad y seguridad en la gestión de estas emergencias. Gracias a su experiencia y recursos tecnológicos, se ha consolidado como un referente en su campo, tanto a nivel local como internacional; logrando la acreditación como BRIF nivel 1 otorgada por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos en el año 2021 (CBDMQ, 2025; SNGR, 2021).

Una BRIF, siendo un grupo especializado, está conformado normalmente por un comandante de incidente, líderes de cuadrillas, bomberos tácticos forestales y paramédicos tácticos forestales.

El comandante de incidente es la máxima autoridad en la escena de un incendio forestal, este rol implica la evaluación inicial de la situación, el establecimiento de objetivos claros y el desarrollo de un plan de acción integral para el control y la extinción del fuego. Además, su función incluye la toma de decisiones críticas bajo presión, la gestión de la seguridad del personal y la adaptación del plan según la evolución del incendio (National Wildfire Coordinating Group, 2022).

El líder de cuadrilla es responsable de la supervisión directa y la seguridad de un equipo de bomberos forestales durante las operaciones. Trabaja bajo la dirección del comandante de incidente, sus funciones incluyen la dirección de las actividades de su cuadrilla, como la gestión media de construcciones de líneas de contención y la extinción directa del fuego (National Wildfire Coordinating Group, 2022).

El Bombero Forestal es el pilar operativo de la brigada, encargado de ejecutar las tareas de combate y control de incendios forestales en el frente. Sus responsabilidades abarcan una amplia gama de actividades físicas y técnicas, como la construcción de líneas de defensa, la operación de herramientas manuales y mecánicas para la extinción y la remoción de material combustible. Los bomberos forestales deben poseer una excelente condición física, resistencia y capacidad para trabajar en entornos peligrosos y desafiantes, siguiendo

estrictos protocolos de seguridad para protegerse a sí mismos y a sus compañeros (National Wildfire Coordinating Group, 2022).

El Paramédico Táctico Forestal es un profesional de la salud con formación especializada en atención médica de emergencia en entornos agrestes y de alto riesgo, como los incendios forestales. Su función principal es proporcionar atención prehospitalaria avanzada a los miembros de la brigada y a cualquier persona afectada dentro de la zona del incidente. Esto incluye el manejo de traumatismos, quemaduras, golpes de calor y otras emergencias médicas que puedan surgir en condiciones extremas (National Wildfire Coordinating Group, 2022).

La población para este trabajo de investigación fue el personal de bomberos pertenecientes a la Brigada de Incendios Forestales del CBDMQ, por cuanto es el personal más adaptado y aclimatado en tareas de incendios forestales, dicho personal está conformado por 60 miembros de diferente edad, género y rango jerárquico. Se consideró trabajar con el 100% de la población para el presente estudio, por lo cual no se consideró el cálculo de una muestra.

Sin embargo, de los 60 individuos pertenecientes a la Brigada de Incendios Forestales y considerando los criterios de exclusión establecidos, dicha población se redujo a 43 individuos lo que representa el 71,67% de la población total.

Tabla 7

Descripción de la población según puesto de trabajo.

Ord.	Puesto de trabajo	Frecuencia	Porcentaje
1	Comandante de Incidente	1	1,67%
2	Líder de cuadrilla	4	6,67%
3	Bombero Forestal	52	86,67%
4	Paramédico táctico	3	5%
		60	100%

Nota. Elaborado por el investigador, con base a la fuente del CBDMQ.

Tabla 8

Descripción de la población final luego de aplicar criterios de exclusión.

Ord.	Puesto de trabajo	Frecuencia	Porcentaje
1	Población inicial antes de aplicar criterios de exclusión	60	100%
2	Población final después de aplicar criterios de exclusión	43	71,67%

Nota. Elaborado por el investigador, con base a la fuente del CBDMQ.

3.4.2 Criterios de inclusión

El estudio incluyó al personal operativo de la Brigada de Incendios Forestales del Cuerpo de Bomberos del Distrito Metropolitano de Quito que contó con una antigüedad de tres años o más laborando en dicha brigada. Adicionalmente, fue indispensable la participación voluntaria de los brigadistas, la cual fue confirmada mediante la aceptación de un consentimiento informado. Para asegurar la representatividad y validez de los datos, se incluyó a todo el personal que cumplió con estos criterios y que se encontró activo en el momento de la recolección de datos.

3.4.3 Criterios de exclusión

Se excluyeron del estudio aquellos participantes que suponen un grado jerárquico o puesto de mando, por cuanto mantienen dentro de la estructura una baja exposición de los riesgos objeto de estudio ya que realizan un trabajo administrativo y de gestión de mando. Asimismo, fueron excluidos los bomberos diagnosticados con alguna patología que pudiera influir en los resultados o en su capacidad para participar plenamente. También se consideró un criterio de exclusión la negativa al consentimiento informado, garantizando así la participación voluntaria y ética. No se incluyó a los bomberos que se encontraban haciendo uso de vacaciones, en estado de gestación, descanso médico y no estuvieron disponibles por diferentes motivos al momento de la recolección de datos, con el fin de asegurar la disponibilidad y representatividad de la muestra en el periodo de estudio. En tal virtud, del total de 60 individuos inicialmente, se excluyeron a 17 por no cumplir con los criterios establecidos para la presente investigación.

3.5 Procedimiento

Para evaluar el nivel de estrés térmico se procedió con la recolección de datos ambientales y fisiológicos del personal de bomberos durante intervenciones reales de incendios forestales en el año 2025; esto implicó el uso del medidor portátil de estrés térmico [Extech, modelo HT200] para registrar datos como la temperatura ambiente, la temperatura de globo negro, la temperatura WBGT y la humedad relativa, en puntos estratégicos de la zona de trabajo y en el personal. Posterior se realizó la aplicación de la NTP 1189, incluyendo la ponderación de la actividad metabólica y la vestimenta portada para el respectivo cálculo del nivel de riesgo. Esta fase de recolección se llevó a cabo en un solo día hasta completar el numérico de participantes, en el mes de julio coincidiendo con la temporada de mayor incidencia de incendios forestales y estuvo a cargo del investigador de la tesis, en colaboración estrecha con el personal de la BRIF para la coordinación logística y el acceso a las operaciones con todas las medidas de seguridad. Se aprovechó la prueba de permanencia llamada Pack Test, que consiste en una caminata de 4.8 km con una mochila de 45 libras de peso y herramienta forestal, usando el EPP forestal completo y que finaliza con un control manual de una pequeña quema forestal controlada de dos fardos de heno seco encima de hierba húmeda y verde; la caminata fue desde las 9:30 a 10:15 aproximadamente, y el control del incendio fue desde las 10:15 hasta las 11:30 aproximadamente.

El poder calorífico de la biomasa en incendios forestales y quemas controladas varía según el tipo de material combustible y las condiciones de humedad, impactando directamente la intensidad del fuego y el estrés térmico en bomberos forestales. En incendios forestales, la biomasa como madera seca [19000 kJ/kg], paja seca [13400 kJ/kg] y arbustos [15000-18000 kJ/kg] genera altas temperaturas de hasta 1020 °C debido a su baja humedad y combustión rápida (Ontario, 2011). En contraste, las quemas controladas, que involucran hierba seca [13400 kJ/kg], hierba húmeda [8000-12000 kJ/kg] o fardos de heno [16000-17000 kJ/kg], producen temperaturas más bajas de entre 200-500 °C debido a igniciones planificadas y mayor control de las condiciones ambientales, lo que reduce la liberación de partículas y el riesgo de estrés térmico (Prichard et al., 2017). Mientras los incendios forestales generan condiciones extremas por la combinación de combustibles y factores como el viento, las quemas controladas ofrecen un entorno más seguro y manejable, con menor impacto térmico y emisiones.

Para estimar el nivel de fatiga muscular se empleó una combinación de mediciones subjetivas y objetivas en el personal de bomberos. Para la parte subjetiva se utilizó el Test de Yoshitake después de la jornada de combate de incendios forestales, mediante encuesta en línea de Google form. Adicionalmente, para la parte objetiva, se realizó una prueba funcional de fuerza muscular como la fuerza de prensión manual -FPM- en la mano dominante de cada individuo de la población, utilizando un dinamómetro de mano portátil [HANDEXER, modelo HFEH20] antes y después de las tareas. Estas mediciones se llevaron a cabo en el mismo periodo de tiempo que la recolección de datos de estrés térmico. Posteriormente se utilizó el baremo del dinamómetro para comprobar el nivel de fatiga muscular según la tabla. El investigador fue el responsable de la administración de las pruebas y la recopilación de los datos, con el apoyo de un paramédico táctico forestal del CBDMQ que garantizó la seguridad en la escena.

Para determinar la correlación entre el estrés térmico y la fatiga muscular, se realizó un análisis estadístico inferencial de los datos recopilados en las fases anteriores. Una vez finalizada la recolección de datos ambientales, fisiológicos y de fatiga muscular, se procedió a la depuración según los criterios de exclusión, organización y codificación de la información en una base de datos. Posteriormente, se aplicaron pruebas estadísticas de correlación de acuerdo con el coeficiente de correlación de Spearman pues a diferencia de la correlación de Pearson, que requiere que los datos tengan una distribución normal y una relación lineal, Spearman se basa en rangos y es útil cuando los datos no cumplen con esos requisitos con el software estadístico IBM SPSS Statistics versión 23, para identificar la relación y la magnitud de la asociación entre las variables de estrés térmico y la fatiga muscular (IBM Corp., 2016). Esta fase se ejecutó a la siguiente semana de la finalización de la recolección de datos y estuvo a cargo del investigador.

El diseño de un programa de prevención y control para mitigar la exposición del estrés térmico se basó en los resultados obtenidos de las fases de medición, evaluación y correlación. Se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva de las mejores prácticas y guías internacionales en prevención y control del estrés térmico en bomberos, como NFPA, ACGIH, NTP, etc. Con base en esta búsqueda y los hallazgos del estudio, se elaboró una propuesta de programa que incluyó medidas administrativas como: elaboración de un

procedimiento de Rehabilitación y el desarrollo de formatos de ingreso, monitoreo y alta para el personal de bomberos en el área de Rehabilitación, según la NFPA 1584 Norma sobre el proceso de rehabilitación para miembros durante operaciones de emergencia y ejercicios de entrenamiento (NFPA, 2022); y, además, medidas de capacitación al personal de la BRIF. Esta fase de diseño se ejecutó en las dos semanas posteriores a la fase de correlación y la llevó a cabo el investigador, quien trabajó en colaboración con los técnicos de la Unidad de Seguridad y Salud Ocupacional del Cuerpo de Bomberos del DMQ para asegurar la viabilidad del programa propuesto.

3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para llevar a cabo la presente investigación se realizó mediante la aplicación de múltiples técnicas como; la observación directa para registrar las condiciones ambientales y las respuestas fisiológicas de los bomberos durante su jornada laboral; paralelamente, se aplicó una encuesta para recolectar información subjetiva sobre la percepción del estrés, los síntomas experimentados y datos demográficos de los participantes; adicionalmente, el estudio se llevó a cabo en condiciones de campo, lo que permitió evaluar de manera realista el impacto del estrés térmico en el rendimiento y bienestar de los bomberos en su ambiente de trabajo natural.

Para la medición de la variable estrés térmico, se empleó una metodología objetiva basada en la Nota Técnica de Prevención -NTP- 1189: Estrés térmico evaluación del riesgo: Índice WBGT, del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo de España (INSST, 2023). Esta NTP establece un procedimiento estandarizado y reconocido internacionalmente para la evaluación del riesgo de estrés térmico en tareas ocupacionales, considerando factores ambientales como la temperatura de bulbo húmedo y seco, la temperatura de globo y la velocidad del aire, así como la actividad metabólica del trabajador y la vestimenta que porte este.

Para medir el estrés térmico, investigaciones como la realizada por Díaz (2025) han utilizado parámetros como el índice WBGT, Wet Bulb Globe Temperature, junto con la tasa metabólica para evaluar cómo estas condiciones afectan a los bomberos estructurales. Este índice es crucial porque refleja cómo factores ambientales como temperatura ambiente, humedad relativa y radiación solar influyen en la capacidad corporal para disipar calor.

Además, se han implementado protocolos para monitorear continuamente parámetros fisiológicos clave mientras los bomberos realizan sus tareas bajo condiciones extremas.

Para la recolección de datos, se utilizó un medidor portátil de estrés térmico de marca Extech, modelo HT200 con número de serie 793950112007, calibrado y certificado, que permitió registrar en tiempo real y de forma continua los parámetros necesarios para el cálculo del índice WBGT en el entorno de las tareas de extinción de incendios forestales. Este instrumento se posicionó estratégicamente en las zonas donde el personal de bomberos realizó sus actividades para las mediciones ambientales como la temperatura húmeda natural -Thn- y la temperatura seca del aire -Ta-, en tanto para la medición de la temperatura de globo -Tg- se acercó el medidor al menos a 50 cm del individuo en los tres niveles sugeridos por el fabricante: cabeza, tronco y piernas; garantizando una representación fiel de las condiciones a las que estuvieron expuestos. Los datos obtenidos permitieron cuantificar el nivel de estrés térmico experimentado por el personal y compararlo con los límites de exposición recomendados.

El baremo o la tabla de referencia de la NTP 1189, clasifica los valores de WBGT en niveles de riesgo, en donde recomienda ciclos de trabajo-descanso y medidas preventivas según la gravedad del estrés térmico detectado (INSST, 2023).

Tabla 9

Baremo NTP1189: Criterios de selección para el TLV y valores de acción para la exposición al estrés térmico según la actividad.

Porcentaje de trabajo y recuperación	Valores límite WBGTeff (TLV) en °C				Valores de acción WBGT eff en °C			
	Ligera	Moderada	Alta	Muy alta	Ligera	Moderada	Alta	Muy alta
75-100%	31.0	28.0	-	-	28.0	25.0	-	-
50-75%	31.0	29.0	27.5	-	28.5	26.0	24.0	-
25-50%	32.0	30.0	29.0	28.0	29.5	27.0	25.5	24.5
0-25 %	32.5	31.5	30.5	30.5	30.0	29.0	28.0	27.0

Nota: Datos tomados de la NTP 1189 que está considerado bajo el criterio de la ACGIH 2018, NTP 1189 (2023).

Reconociendo la sensibilidad de la información a recabar y la posibilidad de que los participantes alteren sus respuestas, esta investigación empleó una estrategia de medición dual, para la medición de la variable fatiga muscular. Se utilizó un instrumento subjetivo, el

Test de Yoshitake, para explorar percepciones y experiencias directas; complementado por un instrumento objetivo, un dinamómetro de mano portátil, diseñado para corroborar o contrastar la información obtenida. Esta combinación permitió no solo una recopilación de datos más robusta y veraz, sino que también ofreció la posibilidad de comparar los hallazgos derivados de ambas fuentes, enriqueciendo así el análisis y la interpretación de los resultados.

Siguiendo, la medición de la fatiga muscular se abordó mediante: una medición subjetiva a través del Test de Yoshitake y una medición objetiva mediante un dinamómetro de mano portátil, conforme a las recomendaciones del American College of Sports Medicine -ACSM-(ACSM, 2021; Yoshitake, 1978). El Test de Yoshitake es un cuestionario que permite a los individuos autoevaluar su percepción de fatiga en diferentes dimensiones: física, mental y sensorial, proporcionando una visión cualitativa del estado de cansancio del individuo; este test se encuentra estructurado en tres bloques de diez preguntas cada uno: fatiga tipo A, sensación de somnolencia o estado de alerta, fatiga tipo B, disminución de la motivación laboral, y fatiga tipo C, fatiga muscular. Se aplicó al personal de bomberos después de la jornada de combate de incendios forestales para observar su percepción de fatiga.

Un estudio de Takeyama et al. (2005) mismo que durante 17 días del año 2000, estudió a bomberos voluntarios de una estación central en una gran ciudad japonesa. Estos bomberos, que trabajaban en turnos de 24 horas, completaron un cuestionario sobre su fatiga subjetiva, su trabajo y sus siestas. Para evaluar la fatiga, se utilizó una adaptación del Test de Yoshitake, que originalmente contenía 30 preguntas sobre sensaciones subjetivas de cansancio. El estudio dio que un patrón de sueño tan irregular causa muchas quejas de fatiga subjetiva y afecta negativamente las funciones fisiológicas.

Para el presente estudio se utilizó el Test de Yoshitake como instrumento de evaluación de la fatiga muscular debido a su eficacia para identificar de forma rápida, debido a que utiliza respuestas dicotómicas [sí/no], y específica los síntomas asociados a la fatiga, dimensiones que son particularmente relevantes en contextos de alta exigencia física y ambiental como el trabajo de los bomberos forestales, facilitando su aplicación debido a que se aplicó la encuesta en línea mediante la herramienta de Google form.

El baremo del Test de Yoshitake, usa un sistema de puntuación que categoriza la gravedad de la fatiga según las respuestas para orientar las intervenciones en trabajos de alto riesgo, como supone la extinción de incendios forestales (Yoshitake, 1978).

Tabla 10

Baremo del Test de Yoshitake

Puntaje por Tipo de Fatiga	Nivel de Fatiga	Interpretación General
0 – 3	Baja	No hay signos relevantes de fatiga en este tipo.
4 – 6	Moderada	Presencia leve a moderada de síntomas de fatiga. Puede requerir seguimiento.
7 – 10	Alta	Presencia clara de fatiga. Recomendable intervenir o ajustar condiciones de trabajo.

Nota. Datos tomados del artículo, Fatiga laboral: Enfoque desde la autoevaluación subjetiva, Yoshitake (1978).

Complementariamente, se utilizó el método estandarizado de la American College of Sport Medicine -ACSM- para medir la fuerza de presión manual mediante un dinamómetro de mano portátil, evaluando la fatiga muscular, siendo este el indicador objetivo y que es ampliamente aceptado de la fuerza muscular general y de la fatiga neuromuscular (ACSM, 2021).

La fuerza de presión manual -FPM- es una forma sencilla, fiable y segura de evaluar la salud general. Se mide utilizando un dispositivo portátil -dinamómetro portátil- que evalúa la fuerza máxima de los músculos flexores de los dedos. Esta medición es crucial porque la fuerza de presión está directamente relacionada con la capacidad de realizar tareas que requieren agarre y aplicación de fuerza. Por estas razones, es una herramienta comúnmente utilizada en la medicina, el deporte y para monitorear la salud de grandes grupos de personas (Tomkinson, G. y Nevill, A., 2021).

La FPM es crucial para medir la función muscular y la capacidad física, sobre todo en personas adultas; está estrechamente ligada a la sarcopenia, que es la pérdida de masa, fuerza y función muscular por el envejecimiento; asimismo, la FPM es un buen indicador de la salud general por cuanto hay pruebas suficientes para considerarla como un biomarcador de salud importante que puede ayudar a detectar diversos problemas de salud y tiene el potencial de convertirse en un nuevo signo vital a lo largo de la vida (Vaishya, 2024).

Para la obtención de datos, se usó un dinamómetro de mano portátil de marca HANDEXER, modelo HFEH20 con número de serie B09MTBSTDD, calibrado y certificado, y que se encuentra listado en la Food and Drug Administration -FDA-; es ideal para mediciones en campo de la fuerza isométrica en entornos laborales. La fuerza de prensión se registró en tres ocasiones con la mano dominante, antes y después de las tareas, y se tomó el valor más alto de cada medición; esta medición se realizó según el método estandarizado de la American College of Sport Medicine -ACSM-, es decir, el individuo sentado, usando su brazo dominante, hombro aducido, codo flexionado a 90° y el antebrazo y la muñeca en una posición neutral.

El baremo del método estandarizado para medir la fuerza de prensión manual de la ACSM (2021), pondera los datos normativos para comparar la fuerza de prensión en diferentes poblaciones, utilizados para evaluar la condición física y los niveles de fatiga; en este sentido, es el que sirvió de guía para el personal de bomberos forestales.

La combinación de estos dos enfoques, tanto el subjetivo -Test de Yoshitake- como el objetivo -dinamómetro de mano portátil-, permitió obtener una comprensión más completa de la variable fatiga muscular, correlacionando la percepción del bombero con un indicador formal de su fatiga muscular.

Tabla 11

Baremo del Dinamómetro manual portátil Handexer HFEH20

HANDEXER DYNAMOMETER						
Typical Grip Strength for Healthy Individual						
AGE	MALE			FEMALE		
	Weak	Normal	Strong	Weak	Normal	Strong
10-11	<27.8	27.8-49.4	>49.4	<26.0	26.0-47.6	>47.6
12-13	<42.8	42.8-68.8	>68.8	<32.2	32.2-53.8	>53.8
14-15	<62.8	62.8-97.7	>97.7	<34.2	34.2-60.2	>60.2
16-17	<71.9	71.9-115.5	>115.5	<37.9	37.9-63.9	>63.9
18-19	<78.7	78.7-122.4	>122.4	<42.3	42.3-68.3	>68.3
20-24	<81.1	81.1-124.8	>124.8	<47.4	47.4-77.8	>77.8
25-29	<83.1	83.1-126.8	>126.8	<56.4	56.4-91.3	>91.3
30-34	<79.4	79.4-123.0	>123.0	<47.4	47.4-77.8	>77.8
35-39	<78.9	78.9-122.6	>122.6	<44.8	44.8-75.2	>75.2
40-44	<78.3	78.3-121.9	>121.9	<41.7	41.7-72.1	>72.1
45-49	<76.5	76.5-120.2	>120.2	<41.0	41.0-71.4	>71.4
50-54	<72.5	72.5-111.8	>111.8	<39.9	39.9-70.3	>70.3
55-59	<67.7	67.7-106.9	>106.9	<39.0	39.0-69.4	>69.4
60-64	<66.6	66.6-105.8	>105.8	<37.9	37.9-68.3	>68.3
64-69	<62.2	62.2-97.0	>97.0	<34.0	34.0-60.0	>60.0
70-99	<47.0	47.0-77.4	>77.4	<32.4	32.4-54.0	>54.0

Nota: Datos tomados del manual de usuario de dinamómetro manual Handexer Model HFEH20.

3.7 Técnicas de análisis de datos

Una vez recopilados los datos de estrés térmico y fatiga muscular, la información fue sometida a un riguroso proceso de organización, depuración y análisis utilizando el software estadístico IBM SPSS Statistics versión 23. Previo al análisis, todos los datos fueron cuidadosamente transferidos desde los instrumentos de medición y los cuestionarios a una matriz de sistematización diseñada específicamente para este estudio. Esta matriz no solo consolidó los valores numéricos obtenidos, sino que también incluyó campos para información contextual relevantes como nivel de estudio, capacitaciones recibidas y demás datos demográficos, esencial para una comprensión integral de los resultados (IBM Corp., 2016).

La matriz de sistematización fue la columna vertebral del procesamiento de los datos. Esta se estructuró de manera exhaustiva para permitir una vinculación precisa entre las mediciones objetivas y subjetivas con las condiciones operativas específicas de cada bombero; incluyó campos clave como datos demográficos del trabajador: edad, género, mano dominante, etc.; puesto de trabajo, características del equipo de protección personal utilizado, referencias a la normativa aplicable -NTP 1189-, los valores conseguidos de las mediciones: índice WBGT, fuerza de presión manual y puntajes del Test de Yoshitake); y un espacio para observaciones adicionales. Además, se incorporaron columnas para registrar el tiempo de exposición a las condiciones de estrés térmico, tipo de tarea o actividad realizada y cualquier otra información cualitativa relevante obtenida durante las operaciones forestales. Esta organización meticulosa garantizó la integridad y la trazabilidad de los datos, facilitando las posteriores correlaciones y análisis estadísticos.

El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando el software SPSS, lo que permitió realizar una serie de pruebas estadísticas adecuadas para los objetivos del estudio. Inicialmente, se ejecutaron estadísticas descriptivas como la media, desviación estándar, frecuencias, porcentajes; para caracterizar las variables de estrés térmico y fatiga muscular, así como las características de la población de estudio. Para la determinación de la correlación entre el estrés térmico y la fatiga muscular, se empleó análisis de correlación de Spearman, según la distribución de los datos por cuanto se infería que la correlación entre las variables podría no ser estrictamente lineal, lo que permitió cuantificar la fuerza y dirección de la

relación entre ambas variables. El uso de SPSS garantizó la precisión y la robustez de los análisis, proporcionando resultados confiables para la interpretación y las conclusiones del estudio.

3.8 Consideraciones éticas

En cualquier investigación que involucre seres humanos, como el estudio sobre el estrés térmico en bomberos, es crucial considerar los principios bioéticos fundamentales: autonomía, beneficencia, no maleficencia y justicia (Beauchamp y Childress, 2011). Esto implica obtener consentimiento informado de los participantes antes de iniciar la investigación; este consentimiento es una conversación y discusión entre un profesional de la salud y un paciente competente, donde el paciente, de forma voluntaria e independiente, acepta, rechaza o cancela un tratamiento o procedimiento médico (Ministerio de Salud Pública, 2016).

La protección y seguridad de los participantes es una prioridad ética clave, esto significa asegurar que las mediciones realizadas no expongan a los participantes a un mayor riesgo durante sus tareas laborales habituales. En tal virtud, se utilizó dispositivos de medición seguros y que no intervinieron en la capacidad operativa de trabajo de los participantes.

Otra consideración bioética importante es mantener la privacidad y confidencialidad de todos los datos recopilados durante la investigación; los registros médicos personales o cualquier información sensible relacionada con el estado de salud o rendimiento físico deben ser tratados con estricta confidencialidad para evitar discriminación laboral u otros perjuicios potenciales hacia los participantes. El Ministerio de Salud Pública (2015), estableció el Acuerdo Ministerial 5216, siendo este un reglamento que tiene el objetivo de regular cómo se debe manejar la información confidencial de los pacientes dentro del Sistema Nacional de Salud y su cumplimiento es obligatorio; además, se establece que la confidencialidad será llevada a cabo solo por personas autorizadas y que tomen todas las medidas necesarias para garantizar su seguridad. La justicia distributiva también juega un papel crucial, esto incluye asegurar que las recomendaciones derivadas del estudio sean accesibles e implementables equitativamente dentro del Cuerpo Bomberos Quito -CBDMQ- sin crear desigualdades entre diferentes grupos dentro del personal operativo.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados encontrados en el proceso de investigación revelaron incidencias claras entre la fatiga muscular objetiva y el estrés térmico. En el grupo de estudio compuesto por 43 personas el 79,1% fueron hombres y el 10,9% mujeres. La edad promedio fue de 36,3 años con un mínimo de 30 años y un máximo de 46 años. Para estimar el estrés térmico, siguiendo la metodología planteada -NTP 1189- se analizó el índice WBGT el cual se estimó considerando la temperatura húmeda natural, temperatura del globo, temperatura seca del aire en el sitio de exposición a la cual estuvieron sometidos y se aprovechó la actividad de control de un incendio por un tiempo de 60 minutos aproximadamente, adicional, se consideró la influencia del EPP. Para la fatiga muscular se consideró la fuerza de presión manual -FPM- antes y después de las tareas con tres tomas en cada caso (mano dominante 93% derecha), el índice resultante es la toma más alta; finalmente, se consideró una medida subjetiva de la fatiga muscular con el Test de Yoshitake.

4.1 Resultados

4.1.1 Estrés térmico – Índice WBGT

Tabla 12

Estadísticos temperatura, índice WBGT

	Estadísticos descriptivos				Desviación estándar
	N	Mínimo	Máximo	Media	
Temp. Húmeda Natural (Thn, °C)	43	20,0	20,9	20,551	0,255
Temp. de Globo (Tg, °C)	43	34,1	36,2	35,095	0,564
Temp. Seca del Aire (Ta, °C)	43	22,4	22,9	22,753	0,145
WBGT (°C)	43	23,17	24,01	23,68	0,192
WBGT Referencia (°C)	43	27,17	28,01	27,68	0,192

Nota. Tabla tomada de resultados SPSS.

La Tabla 12 muestra los estadísticos descriptivos de las mediciones térmicas realizadas en 43 bomberos forestales durante sus tareas. La temperatura húmeda natural (Thn) osciló entre 20,0°C y 20,9°C (media: 20,55°C), la temperatura de globo (Tg) entre 34,1°C y 36,2°C (media: 35,10°C), y la temperatura seca del aire (Ta) entre 22,4°C y 22,9°C (media: 22,75°C). El índice WBGT, que integra estos valores, registró un rango de 23,17°C

a 24,01°C (media: 23,68°C), mientras que el WBGT Referencia, que incluye el efecto del equipo de protección personal (EPP), mostró un aumento significativo, con valores entre 27,17°C y 28,01°C (media: 27,68°C).

Tabla 13

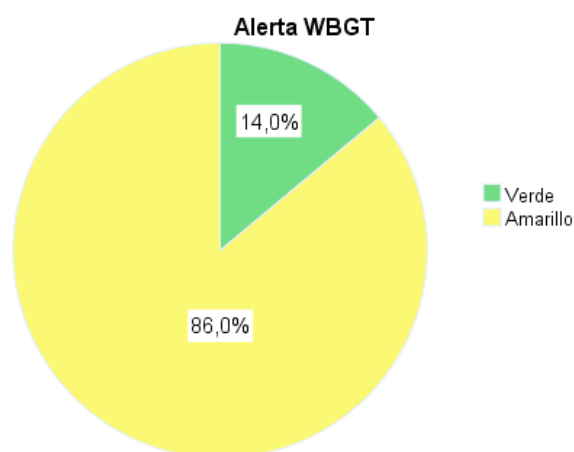
Alerta del índice WBGTref

		Alerta WBGTref			
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Verde	6	14,0	14,0	14,0
	Amarillo	37	86,0	86,0	100,0
	Total	43	100,0	100,0	

Nota. Tabla tomada de resultados SPSS.

Figura 14

Alerta del índice WBGTref



Nota: Imagen tomada de resultados SPSS.

La Tabla 13 y la Figura 14 muestran los niveles de alerta por estrés térmico (WBGTref) en los bomberos evaluados. El 86% de los casos (37 bomberos) registraron una alerta amarilla, lo que indica condiciones de riesgo moderado que requieren precauciones como hidratación y descansos periódicos. Solo el 14% (6 bomberos) se ubicaron en alerta verde, asociada a un riesgo ligero. Estos resultados reflejan que la mayoría del personal está expuesto a condiciones térmicas potencialmente peligrosas durante sus labores, destacando la necesidad de implementar medidas preventivas para mitigar el estrés térmico,

especialmente en operaciones prolongadas; otra opción sería reducir el tiempo de trabajo como sugiere la NTP 1189 y que sigue el mismo criterio de la ACGIH, que ubicaría a esta actividad según las temperaturas alcanzadas en un porcentaje de trabajo y recuperación de 50-75%, es decir que por cada hora de trabajo bajo esa exposición se debería considerar de 30 a 45 minutos de descanso.

4.1.2 Fatiga muscular – Fuerza de presión manual (FPM)

Tabla 14

Estadísticos FPM, fatiga muscular

	Estadísticos descriptivos				Desviación estándar
	N	Mínimo	Máximo	Media	
Mejor toma (Antes)	43	51,2	121,0	96,89	21,66
Mejor toma (Después)	43	32,1	81,1	71,08	15,21
Diferencia (Antes - Después)	43	4,9	42,7	25,81	9,40

Nota. Tabla tomada de resultados SPSS.

En la Tabla 14 se observa que la fuerza de presión manual en la mano dominante disminuyó de manera marcada después de la labor de los bomberos. Antes de la tarea, el promedio de la mejor toma se acercaba a los 97 kg, mientras que al finalizar descendió a poco más de 71 kg, con una reducción media cercana a 26 kg. Este cambio refleja una pérdida importante de fuerza en un intervalo corto de tiempo, lo que se interpreta como un signo claro de fatiga muscular producto del esfuerzo físico y de la exposición a condiciones de calor propias del trabajo en incendios forestales.

Tabla 15

Nivel de fatiga muscular, índice FPM

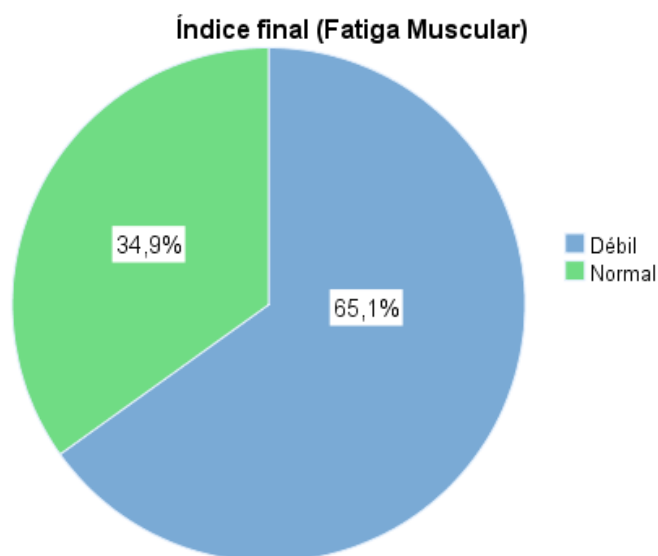
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Índice inicial	Normal	43	100,0	100,0	100,0
	Débil	28	65,1	65,1	65,1
Índice final	Normal	15	34,9	34,9	100,0
	Total	43	100,0	100,0	

Nota. Tabla tomada de resultados SPSS.

La información de la Tabla 15 muestra un contraste claro entre la condición inicial y final de los bomberos en cuanto al índice de fuerza de prensión manual. Antes de la actividad, todos los participantes se encontraban dentro del rango considerado normal según el baremo del instrumento utilizado. Sin embargo, al concluir la tarea, cerca de dos tercios (65,1%) pasaron a clasificarse en el nivel “débil”, mientras que solo un 34,9% mantuvo valores normales (Figura 15). Este cambio refleja que el esfuerzo físico y la exposición a las condiciones de calor durante el trabajo influyeron de manera significativa en la capacidad muscular, generando un estado de fatiga que se hizo evidente en la mayoría del grupo.

Figura 15

Nivel de fatiga muscular, índice FPM



Nota: Imagen tomada de resultados SPSS.

4.1.3 Fatiga muscular – Test de Yoshitake

Tabla 16

Estadísticos Test de Yoshitake, fatiga muscular

	Estadísticos descriptivos				Desviación estándar
	N	Mínimo	Máximo	Media	
Suma Fatiga Tipo A	43	0	10	1,93	2,394
Suma Fatiga Tipo B	43	0	10	1,00	2,059
Suma Fatiga Tipo C	43	0	10	1,84	1,717

Nota. Tabla tomada de resultados SPSS.

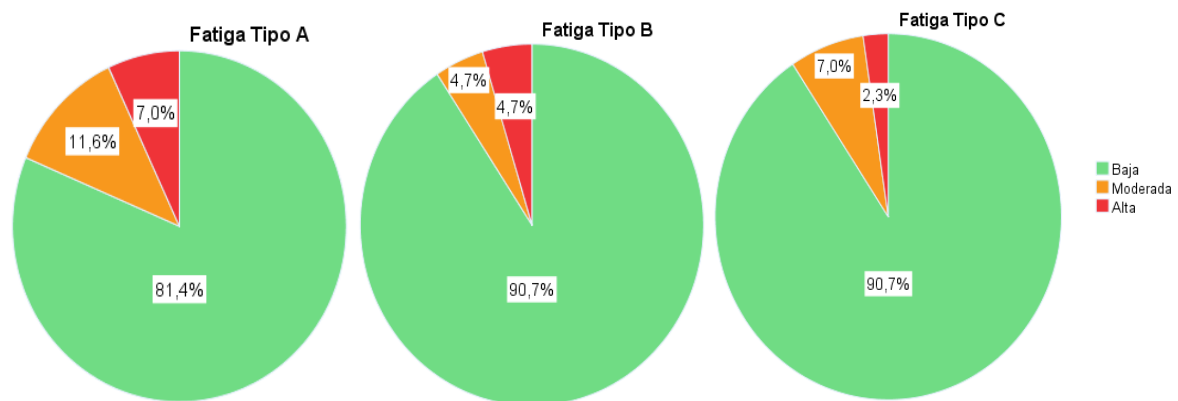
La Tabla 16 muestra que, según el Test de Yoshitake, los tres tipos de fatiga muscular evaluados se ubicaron en promedio dentro del rango bajo (0–3). La fatiga tipo A, relacionada con el estado de alerta, alcanzó una media de 1,93, siendo la de mayor presencia. La fatiga tipo B, que se asocia con la motivación, presentó el promedio más bajo (1,00), mientras que la fatiga tipo C, vinculada a la fatiga muscular, obtuvo 1,84 puntos. En conjunto, los resultados indican que, en promedio, los bomberos no alcanzaron niveles moderados de fatiga muscular; sin embargo, estos valores reflejan la presencia de signos iniciales de agotamiento físico y mental, dado que la desviación estándar en todos los casos bordea los 2 puntos, es decir sí cabe la posibilidad de encontrar un nivel moderado de fatiga muscular subjetiva, aunque los resultados no son contundentes.

Tabla 17

Niveles de fatiga muscular, test de Yoshitake

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Fatiga Tipo A (Estado Alerta)	Baja	35	81,4	81,4	81,4
	Moderada	5	11,6	11,6	93,0
	Alta	3	7,0	7,0	100,0
	Total	43	100,0	100,0	
Fatiga Tipo B (Motivación)	Baja	39	90,7	90,7	90,7
	Moderada	2	4,7	4,7	95,3
	Alta	2	4,7	4,7	100,0
	Total	43	100,0	100,0	
Fatiga Tipo C (Fatiga muscular)	Baja	39	90,7	90,7	90,7
	Moderada	3	7,0	7,0	97,7
	Alta	1	2,3	2,3	100,0
	Total	43	100,0	100,0	

Nota. Tabla tomada de resultados SPSS.

Figura 16*Nivel de fatiga muscular, índice FPM*

Nota: Imagen tomada de resultados SPSS.

La Tabla 17 y la Figura 16 complementan los resultados del Test de Yoshitake al mostrar la distribución de los niveles de fatiga muscular en cada tipo. En la fatiga tipo A, asociada a síntomas del estado de alerta, el 81,4% del personal se ubicó en nivel bajo, mientras que un 11,6% presentó fatiga moderada y un 7,0% alcanzó niveles altos, lo que evidencia que, aunque la mayoría mantuvo valores bajos, existe un grupo que experimentó un mayor grado de agotamiento físico. En el caso de la fatiga tipo B, relacionada con la motivación, el 90,7% permaneció en nivel bajo, y únicamente un 9,4% se distribuyó entre moderada y alta, reflejando una menor incidencia de este componente en comparación con la fatiga física directa. Por último, la fatiga tipo C, vinculada a la fatiga muscular, también mostró un predominio del nivel bajo (90,7%), con solo un 7,0% en nivel moderado y un 2,3% en nivel alto. Estos datos indican que, en general, la fatiga muscular se manifestó mayoritariamente en rangos bajos, pero un grupo reducido de bomberos alcanzó niveles moderados y altos, lo que confirma que la exigencia del trabajo y el estrés térmico no impactan de manera homogénea en todo el personal.

4.1.4 Correlación entre el estrés término y la fatiga muscular

Tabla 18

Matriz de correlación entre el estrés térmico y la fatiga muscular

Correlación (Rho de Spearman)	FPM (Antes)	FPM (Después)	Diferencia FPM	Fatiga Muscular Tipo A	Fatiga Muscular Tipo B	Fatiga Muscular Tipo C	WBGT
FPM (Antes)	1						
FPM (Después)	0,774**	1					
Diferencia FPM	0,938**	0,632**	1				
Fatiga Tipo A	-0,067	0,060	-0,112	1			
Fatiga Tipo B	-0,092	-0,010	-0,068	0,580**	1		
Fatiga Tipo C	0,036	-0,085	0,031	0,518**	0,586**	1	
WBGT	0,285	0,357*	0,214	0,003	0,184	0,240	1

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

Nota. Tabla tomada de resultados SPSS.

En la matriz de correlación, de la Tabla 18, se observa que el índice de estrés térmico (WBGT) presenta asociaciones positivas con varias variables, aunque únicamente la correlación con la mejor toma después de la tarea alcanza significancia estadística ($\rho = 0,357$; $p = 0,019$). Esto indica que, tras la exposición al calor y la realización del esfuerzo físico, los niveles de estrés térmico se relacionan de manera significativa con la fuerza de prensión manual obtenida en la medición final, lo que sugiere que el calor ambiental influye directamente en la disminución de la capacidad muscular en el corto plazo. En contraste, las correlaciones del WBGT con la mejor toma antes de la FPM, con la diferencia entre antes y después de la FPM, y con los tres tipos de fatiga del Test de Yoshitake no resultaron significativas. Este patrón sugiere que el impacto del estrés térmico se refleja principalmente en la pérdida inmediata de fuerza física, más que en la percepción subjetiva de fatiga muscular, evidenciando que los efectos del calor sobre el rendimiento físico pueden ser más sensibles a pruebas objetivas de fuerza -FPM- que a la autopercepción de fatiga del personal de bomberos forestales.

4.2 Discusión

4.2.1 Discusión de resultados y análisis crítico

Los resultados obtenidos en la presente investigación confirman una relación significativa entre el estrés térmico y la fatiga muscular en bomberos durante tareas de control de incendios forestales, alineándose con hallazgos previos que destacan el impacto del calor ambiental, ejecución de actividad física y el equipo de protección personal -EPP- en el rendimiento físico (Games, 2020; Rodríguez-Marroyo, 2012). Específicamente, en el índice WBGT promedio de 23,68°C el mismo que, siguiendo la metodología se castiga por el EPP utilizado, obteniendo un WBGT_{ref} promedio de 27,68°C, esto indica un nivel de estrés térmico moderado, con el 86% de los participantes en alerta amarilla, lo que concuerda con estudios que identifican al -EPP- como un factor amplificante de la carga térmica (Agostinelli et al., 2024). La exposición prolongada en entornos calurosos, combinada con la intensidad del trabajo, explica la disminución observada en la fuerza de prensión manual -FPM-, donde la media pasó de 96,89 kg antes de realizar la tarea a 71,08 kg después de realizar la tarea, reflejando una fatiga muscular similar a estudios en donde se realizaron ejercicios físicos bajo condiciones de calor mismos que redujeron el equilibrio funcional de los investigados (Games, 2020).

La correlación positiva y significativa entre el WBGT y la FPM post-tarea ($\rho = 0,357$; $p = 0,019$) acentúa cómo el estrés térmico influye directamente en la pérdida de fuerza muscular, un mecanismo fisiológico que se vincula con alteraciones en la perfusión muscular, como se ha demostrado en investigaciones sobre el estrés térmico producido por actividades extenuantes (Ives et al., 2016). Asimismo, los resultados obtenidos de la prueba de -FPM- coinciden con estudios que asocian el estrés térmico con el aumento de la fatiga física (Canetti et al., 2022). Esto sugiere que el impacto fisiológico como la fatiga muscular es una consecuencia del estrés térmico, aunque agravado por el -EPP- y el terreno irregular propio de los bomberos forestales (García-Heras et al., 2024).

Adicionalmente, el 65,1% de los participantes clasificados como "débil" en el índice -FPM- final según el baremo del instrumento utilizado, resalta la fatiga muscular periférica como una consecuencia directa del estrés térmico, alineándose con literatura que conecta el

daño muscular, termorregulación alterada y respuestas inflamatorias debido a golpes de calor (Li et al., 2021).

Los presentes hallazgos, en una población de bomberos forestales en altitudes superiores a 2000 msnm donde se confirma una correlación significativa entre el estrés térmico y la fatiga muscular, pudieran compararse a estudios realizados en bomberos estructurales en donde también se ha identificado a la acumulación de estrés térmico y la fatiga como factores de riesgos asociados en los entrenamientos con fuego real (Mani et al., 2013).

Desde una perspectiva comparativa, los resultados refuerzan la interrelación entre estrés térmico y fatiga, misma que es destacada en revisiones sistemáticas, en donde también añaden al burnout y la fatiga cognitiva con riesgos laborales en la extinción de incendios, aunque son dos variables que no se estudiaron en esta investigación (Cuenca-Lozano, 2023). Del mismo modo, investigaciones que enfatizan estrategias de enfriamiento para obtener un beneficio fisiológico como reducir la temperatura central como la de Fullagar et al. (2022), los presentes datos sugieren que tales intervenciones podrían ser cruciales para mitigar el estrés térmico, especialmente dado que el 86% de los casos estuvieron en alerta amarilla-moderado. En este punto, podríamos coincidir con Bach et al. (2018) en donde reconocen que barreras como la logística y el conocimiento, identificadas en encuestas a departamentos de bomberos, podrían explicar por qué no se implementaron protocolos de recuperación, y obteniendo una fatiga muscular del 65,1% de los participantes de este estudio luego de haber realizado la tarea de actividad forestal.

No obstante, la poca fiabilidad de la medición subjetiva mediante el Test de Yoshitake, en donde solo un 2,3-7% reportó fatiga muscular moderada-alta, contrastan con la medición objetiva -FPM- en donde un 65,1% se ubicaron en categoría “débil” según el baremo del instrumento, sugiriendo que los bomberos podrían subestimar su agotamiento debido al ímpetu por cumplir la tarea o a su entrenamiento habitual, variables no medidas en el estudio; esto resalta la necesidad de combinar mediciones objetivas y subjetivas para una evaluación integral.

En términos de aplicaciones prácticas, los resultados abogan por la implementación de procedimientos de rehabilitación, descansos e hidratación durante las operaciones de control de incendios forestales para prevenir un desgaste físico significativo, alineándose con recomendaciones de estudios en donde sugiere que los turnos de trabajo deben incluir pausas regulares con descansos adecuados (Vincent, 2018).

Finalmente, aunque la investigación confirma vínculos consistentes con literatura previa (Canetti et al., 2022; Li et al., 2021; Rodríguez-Marroyo, 2012;), futuras estudios deberían explorar variables moderadoras como la hidratación, microdescansos o la aclimatación previa, para obtener datos de la fatiga muscular bajo estrés térmico. La extrapolación de estos hallazgos a otros contextos ocupacionales de alto riesgo podría resultar en políticas de salud laboral, enfatizando en la prevención para reducir las muertes relacionadas con el deber, mismas que representan el 50% en bomberos debido a una actividad extenuante (Ives et al., 2016). En suma, esta investigación contribuye a una comprensión más profunda de la interrelación estrés térmico-fatiga muscular, promoviendo intervenciones que mejoren la seguridad, salud y el rendimiento en bomberos forestales.

4.2.2 Fortalezas y limitaciones

Esta investigación tiene una fortaleza teórica importante, por cuanto busca vincular dos conceptos importantes de la fisiopatología laboral: el estrés térmico y la fatiga muscular. Si bien es cierto, existe una amplia base de conocimiento sobre cómo las altas temperaturas impactan el cuerpo humano, era imperativo encontrar una conexión directa y cuantificable entre el estrés térmico y la fatiga muscular, especialmente en una actividad tan demandante como el combate de incendios forestales en lugares de más de 2000 msnm.

En tanto a la fortaleza práctica de este trabajo, radica en su potencial para mejorar la seguridad, salud y el rendimiento de los bomberos forestales de la ciudad de Quito. Al confirmar la relación entre el estrés térmico y la fatiga muscular, se pueden desarrollar procedimientos para el manejo de descansos, hidratación y la rotación del personal; así como posibles implementaciones de lugares destinados a obtener descansos y reposición de energía como un -Área de Rehabilitación- que cumpla criterios normativos como la NFPA 1584; esto no solo podría reducir el riesgo de lesiones y enfermedades relacionadas por la exposición al

calor, sino también optimizar el desempeño durante los incendios con periodos operacionales extensos.

Otra fortaleza es la elección de una metodología correlacional; este tipo es ideal para explorar el grado de relación entre el estrés térmico, medido a través del WBGT, y la fatiga muscular, evaluada por la FPM. Asimismo, al optar medir la fatiga muscular mediante un método subjetivo -Test de Yoshitake- y un objetivo -FPM-, generó resultados que sugieren fiarse por métodos objetivos, ya que la medición subjetiva fue incompatible con la objetiva, posiblemente por el sentido del deber de los bomberos forestales.

Una fortaleza adicional es que, esta investigación es inédita en la institución de bomberos estudiada. Esto significa que los resultados tendrían un impacto relevante en la institución, ya que proporcionarán datos específicos sobre una población de trabajadores que a menudo no se la toma en cuenta en la literatura científica. Los hallazgos podrían ser un promotor para implementaciones o cambios en las políticas de higiene, seguridad y salud laboral dentro de la institución. Asimismo, el uso de la fuerza de prensión manual según la -ACSM- como instrumento de medición para la fatiga muscular en una población de bomberos, impulsa a continuar a más investigadores a usarla, ya que demostró ser fiable para dicho objetivo.

Una de las principales limitaciones fue la dificultad para controlar variables de escenarios reales. A diferencia de un ambiente controlado, un incendio forestal es un entorno impredecible; la intensidad del calor, tipo de combustible que arde, la humedad relativa, la exposición al humo, dirección del viento y el terreno varían constantemente. Esto hace que no sea sólido inferir al estrés térmico como la única causa de la fatiga muscular. Además, otros factores como la duración de la jornada de trabajo, el nivel de entrenamiento físico-mental de cada bombero, experiencia, género y su estado nutricional pueden influir en los resultados, introduciendo variables que son complicadas de controlar, pero que podrían tomarse en cuenta en futuras investigaciones.

Otra limitación significativa es la validez externa del presente estudio. Debido a que la investigación se delimitó a la Brigada Forestal del CBDMQ, los resultados podrían no ser generalizables a otras ciudades o regiones con diferentes condiciones climáticas, altitudes y recursos operativos.

CAPÍTULO V

5. PROPUESTA

Dada la importancia del tema del estrés térmico en las operaciones forestales dentro del CBDMQ, se ha generado dos tipos de propuestas, un programa de capacitación para el personal de bomberos y un Procedimiento de Implementación de un Área de Rehabilitación para Incendios Forestales de Periodos Operacionales Extensos con base a la NFPA 1584, el mismo que incluye un formato de guía rápida para la atención de los respondientes y una tabla de estimación de costos para la implementación.

Programa de Capacitación para la Prevención y Control del Estrés Térmico en Incendios Forestales para el personal de la BRIF del CBDMQ.

Dirigido a: Personal operativo de la Brigada de Respuesta a Incendios Forestales del CBDMQ.

Modalidad: en línea (con apoyo en plataforma educativa institucional).

Duración Total: 8 horas

Requisitos: Ser miembro activo de la brigada.

1. Descripción del Curso

El presente programa de capacitación busca desarrollar en el personal operativo de la BRIF-CBDMQ las competencias necesarias para prevenir, identificar y actuar ante situaciones de estrés térmico durante operaciones en incendios forestales. A través de cuatro módulos tipo lecciones, en donde se abordarán aspectos conceptuales, preventivos, de planificación operativa y de respuesta ante emergencias relacionadas con la exposición al calor extremo.

El programa combina la exposición participativa, análisis de casos reales y talleres prácticos, utilizando recursos interactivos y evaluaciones en línea.

2. Objetivo General

Fortalecer las capacidades del personal para prevenir y controlar el estrés térmico, protegiendo su salud y optimizando el rendimiento en situaciones de un incendio forestal.

3. Módulos o Lecciones de Capacitación

Tabla 19

Módulos de capacitación

Módulo o Lección	Duración	Objetivos Específicos de la lección	Contenido
Módulo 1: Fundamentos teóricos del Estrés Térmico y su Impacto en Bomberos.	2 horas	<ul style="list-style-type: none"> • Comprender qué es el estrés térmico y sus tipos. • Reconocer factores de riesgo. • Identificar límites de exposición y normativa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Definición y clasificación (golpe de calor, agotamiento, estrés térmico). - Factores de riesgo: WBGT, tasa metabólica por actividad, aclimatación. - Normativa ACGIH, NTP 1189, normativa nacional.
Módulo 2: Reconocimiento Temprano de Signos y Síntomas	2 horas	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar signos y síntomas tempranos y avanzados. • Diferenciar cuadros leves y graves. • Aplicar protocolo de monitoreo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Signos y síntomas. - Métodos de monitoreo (termómetros, escalas subjetivas con base a la norma NFPA 1584). - Protocolos de actuación.
Módulo 3: Medidas Preventivas y Planificación	2 horas	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar medidas preventivas. • Elaborar plan de hidratación y pausas 	<ul style="list-style-type: none"> - Hidratación: tipos de líquidos, frecuencia, cantidad. - Manejo de EPP.

Operativa Institucional		<p>activas durante las operaciones.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Integrar la seguridad térmica en los Procedimientos de Operaciones Institucionales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pausas activas y recuperación. - Planificación de turnos y rotación. - Implementación de un Área de Rehabilitación con base a la NFPA 1584. - Ventilación pasiva y activa.
Módulo 4: Respuesta y Primeros Auxilios ante Estrés Térmico	2 horas	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar primeros auxilios ante golpes de calor. • Coordinar evacuación y atención médica. • Utilizar equipos de enfriamiento rápido. 	<ul style="list-style-type: none"> - Procedimientos de atención. - Uso de mantas térmicas, compresas frías. - Coordinación con servicios médicos.

Nota. Elaboración propia

4. Recursos para la ejecución en la Plataforma Educativa

- Ficha de inscripción del participante.
- Guías en formato PDF de cada módulo con resumen de contenidos e imágenes; y/o diapositivas.
- Infografías descargables:
 - Reconocimiento de síntomas en formato de diagramas sencillos.
 - Procedimiento de hidratación y alimentación durante las operaciones forestales.
 - Procedimiento de primeros auxilios por estrés térmico en operaciones forestales.
 - Procedimiento de Implementación del Área de Rehabilitación con base a la NFPA 1584 en Operaciones de periodos Operacionales

extensos.

- Videos cortos e interactivos para reforzar contenidos clave del tema de capacitación.
- Checklists imprimibles:
 - Lista de verificación en tema de hidratación y alimentación.
 - Lista de verificación del contenido de un Área de Rehabilitación.
 - Lista de verificación o algoritmos para evaluación rápida de estrés térmico y/o descanso para el personal en el Área de Rehabilitación.

5. Evaluaciones

Sumativas: Cuestionarios de 5 preguntas de opción múltiple por cada módulo o lección (mínimo 70% de aciertos para aprobar).

Final: Cuestionario de 10 preguntas de opción múltiple (mínimo 70% de aciertos para aprobar).

6. Certificación

Se otorgará certificado de aprobación a quienes completen el 100% de los módulos o lecciones y aprueben todas las evaluaciones. Quienes no alcancen el porcentaje mínimo de aprobación tendrán la opción de repetir la capacitación una vez más; y quienes no alcancen por segunda vez el puntaje mínimo se les otorgará un certificado de participación.

Procedimiento de Implementación del Área de Rehabilitación con base a la NFPA 1584 en Incendios Forestales de periodos Operacionales Extensos para la BRIF-CBDMQ

Propósito

El propósito de este procedimiento es proporcionar un marco sistematizado para el establecimiento e implementación de un Área de Rehabilitación para la BRIF-CBDMQ que apoye las necesidades fisiológicas de los bomberos forestales y demás intervinientes que participen en operaciones de incendios forestales con una duración prolongada y/o ejercicios de entrenamientos.

Alcance

Este procedimiento identifica las situaciones en las que resulta apropiado establecer un Área de Rehabilitación. Proporciona información sobre su funcionamiento, las tareas y los procedimientos que deben seguir quienes lo gestionan y lo utilizan, así como las necesidades de los recursos como equipos y personal, todo esto con base en la NFPA 1584 Norma sobre el Proceso de Rehabilitación de los Integrantes durante las Operaciones de Emergencia y los Ejercicios de Entrenamiento (NFPA, 2022).

El Área de Rehabilitación proporciona a los bomberos forestales y demás respondientes, hidratación, alimentación, refugio contra el clima y una valoración médica para garantizar que el socorrista esté listo para regresar al trabajo de manera segura y controlada.

Justificación

El personal de bomberos, en el ejercicio de sus funciones, se enfrenta de manera recurrente a condiciones de estrés térmico extremo, derivado tanto de las altas temperaturas ambientales generadas por los incendios como del aislamiento térmico que proporcionan sus equipos de protección personal (Díaz., 2025). Esta exposición no solo representa un riesgo directo para la salud, como el golpe de calor, sino que también se ha identificado como un factor contribuyente significativo a la disminución del rendimiento físico y al aumento de la fatiga muscular (Li et al., 2021). La normativa internacional, como la NFPA 1584, *Standard on the Rehabilitation Process for Members During Emergency Operations and Training*

Exercises, subraya la importancia de la monitorización y mitigación del estrés térmico, reconociendo implícitamente su impacto en la capacidad operativa y la seguridad del bombero (NFPA, 2022).

El arduo trabajo de los bomberos forestales, en particular de las Brigadas de Respuestas a Incendios Forestales, es reconocida por su alta exigencia física, mental y la exposición a condiciones ambientales extremas. Estos profesionales trabajan durante jornadas extendidas de más de 12 horas, transportando equipos y herramientas pesadas de alrededor de 25 kg, soportando temperaturas que superan los 30°C, siendo el calor uno de los principales riesgos que afrontan (García-Heras et al., 2024).

La implementación adecuada de este procedimiento garantizará que los respondientes que puedan estar sufriendo efectos de la acumulación de calor, deshidratación, esfuerzo físico y/o clima extremo, reciban valoración médica y rehabilitación durante las operaciones de emergencias; entendiéndose que la mayoría de los incidentes y lesiones causadas por calor son totalmente prevenibles.

El encargado del Área de Rehabilitación asistirá al Comandante de Incidentes -CI- en la supervisión de la salud de los bomberos forestales y el control del ciclo de trabajo-descanso para prevenir lesiones en dichos respondientes.

Política

Este procedimiento se implementará en todos los incendios forestales considerados de nivel 3 o durante operaciones prolongadas. La política del CBDMQ será que ningún miembro podrá continuar operaciones de emergencia más allá de los niveles seguros de resistencia fisiológica, médica o mental, establecidos en las normas internacionales o nacionales.

La responsabilidad del establecimiento del Área de Rehabilitación recaerá en el -CI- aunque el Oficial de Seguridad -OS- podrá también informar la necesidad de establecer un Área de Rehabilitación. Para los incidentes menores, la rehabilitación del personal podrá realizarse en una unidad de ambulancia.

Objetivo

Reducir el riesgo de lesiones de los respondientes que puedan derivar de operaciones prolongadas en condiciones adversas.

Funciones del Área de Rehabilitación

El Área de Rehabilitación, se utilizará para evaluar y asistir al personal que pueda sufrir los efectos de un esfuerzo fisiológico o mental sostenido durante operaciones de incendios forestales de periodos extensos. El Área de Rehabilitación contará con un área específica donde el personal se reunirá para recibir:

- Valoración física.
- Descanso, hidratación y alimentación.
- Evaluación médica y tratamiento de lesiones menores.
- Seguimiento continuo de su estado físico.
- Derivación en caso de requerir transporte hacia casas de salud.
- Asistencia y tratamiento en caso de estrés térmico.
- Reasignación a tarea posterior al descanso.
- Refugio.

Siempre que sea posible, se creará un Grupo de Rehabilitación institucional, en donde estará formado por un Encargado del Área de Rehabilitación, un médico, un paramédico y un logístico, con los siguientes recursos:

- Chalecos de identificación de Grupo de Rehabilitación y su función.
- Lugar establecido o vehículo para el Área de Rehabilitación.
- Vehículo logístico tipo camioneta.
- Lugar para alimentación – comedor.
- Equipos de monitorización de signos vitales.
- Maleta de primeros auxilios avanzado.
- Elementos para realizar una ventilación activa.
- Elementos para proveer confort térmico o calor.
- Mobiliario como sillas, mesas, pizarras, etc.

Las consideraciones para seleccionar la ubicación del Área de Rehabilitación serán:

- Capacidad para acomodar la cantidad de al menos una dotación, incluyendo el personal del Grupo de Rehabilitación.
- Accesibilidad para una ambulancia y personal médico y paramédico en caso de que se requiera tratamiento o transporte médico.
- Alejado de atmósferas peligrosas y demás riesgos.
- Capacidad de proporcionar refugio, abrigo y ventilación activa.
- Capacidad de ofrecer hidratación y alimentación.
- Alejada de los espectadores y medios de comunicación para ofrecer privacidad a los usuarios.
- Deberá contar con señalética como -Área de Rehabilitación- y delimitada con conos y/o cinta de seguridad.

Criterios para el Uso del Área de Rehabilitación

El personal deberá acudir al Área de Rehabilitación en los siguientes casos:

- Después del uso de 2 cilindros de 30 minutos -2216 psi- de un Equipo de Respiración Autónoma.
- Después del uso de 1 cilindro de 45 o 60 minutos -4500 psi o 6000 psi- de un Equipo de Respiración Autónoma.
- Después de 40 minutos de trabajo físico intenso sin usar un Equipo de Respiración Autónoma -ERA-.
- Después de realizar tareas con trajes encapsulados de Materiales Peligrosos.
- Cuando así lo disponga el Comandante del Incidentes y/o Oficial de Seguridad.
- Cuando sienta la necesidad de hacerlo.

Procedimiento

Una vez se cumpla cualquiera de los criterios antes mencionados, el respondiente deberá pasar por las 4 secciones detalladas a continuación:

Sección A: Punto de Entrada

- Antes de ingresar deberá pasar por la zona de descontaminación o solicitar que le realicen una descontaminación.
- El encargado del Área de Rehabilitación tomará la etiqueta de identificación del respondiente y procederá a tomar el pulso. Si el pulso del respondiente es superior a 120 ppm se lo derivará inmediatamente a la Sección C -Tratamiento Médico y Transporte-, en donde recibirá la monitorización y el tratamiento adecuado.
- Los respondientes que no requieran tratamiento médico serán derivados a la Sección B -Hidratación y Reposición-.
- Se deberá registrar en un formulario de atención, los datos del respondiente, estación a la que pertenece, vehículo, asignación o tarea que estaba realizando, etc.

Sección B: Hidratación y Reposición

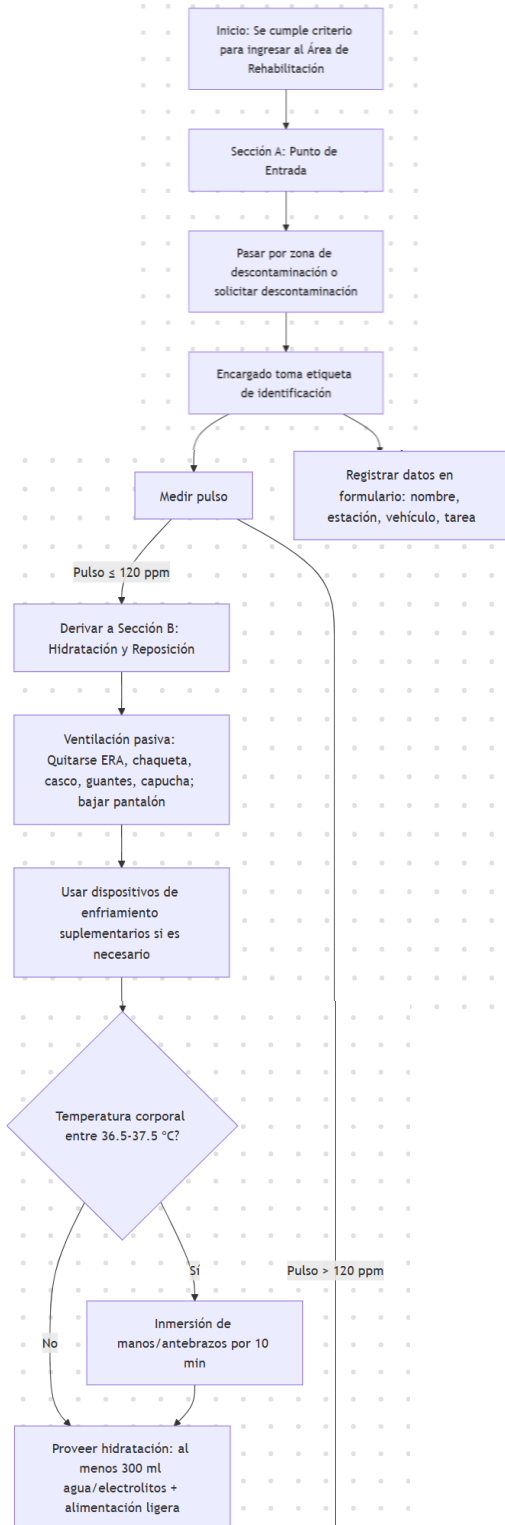
- En esta sección el respondiente deberá aplicar una ventilación pasiva: quitarse el Equipo de Respiración Autónoma o mochila forestal, chaqueta, casco, guantes y capuchas ignífugas; en tanto, el pantalón deberá retirarse o en su defecto bajarse hasta la altura de las botas, quedando únicamente con la ropa de primera capa -pijama ignífuga-.
- En esta sección se contará con dispositivos de enfriamiento suplementarios como ventiladores, chalecos, guantes o mangas de enfriamiento, para realizar una ventilación activa en caso de requerirlo.
- Se podrá realizar inmersiones de manos y antebrazos de al menos 10 minutos para bajar la temperatura corporal central en caso de que se haya superado lo permitido, esta debe oscilar entre 36.5 °C y 37.5 °C.
- Se proveerá de hidratación con reposición de electrolitos y alimentación ligera, todo esto se ejecutará en una posición ergonómica aceptada -sentada-.
- Todo el personal deberá permanecer al menos 20 minutos en esta sección.
- Todo el personal deberá consumir al menos 300 ml de agua o bebidas con electrolitos en esta sección.
- No se permitirá fumar en esta sección.

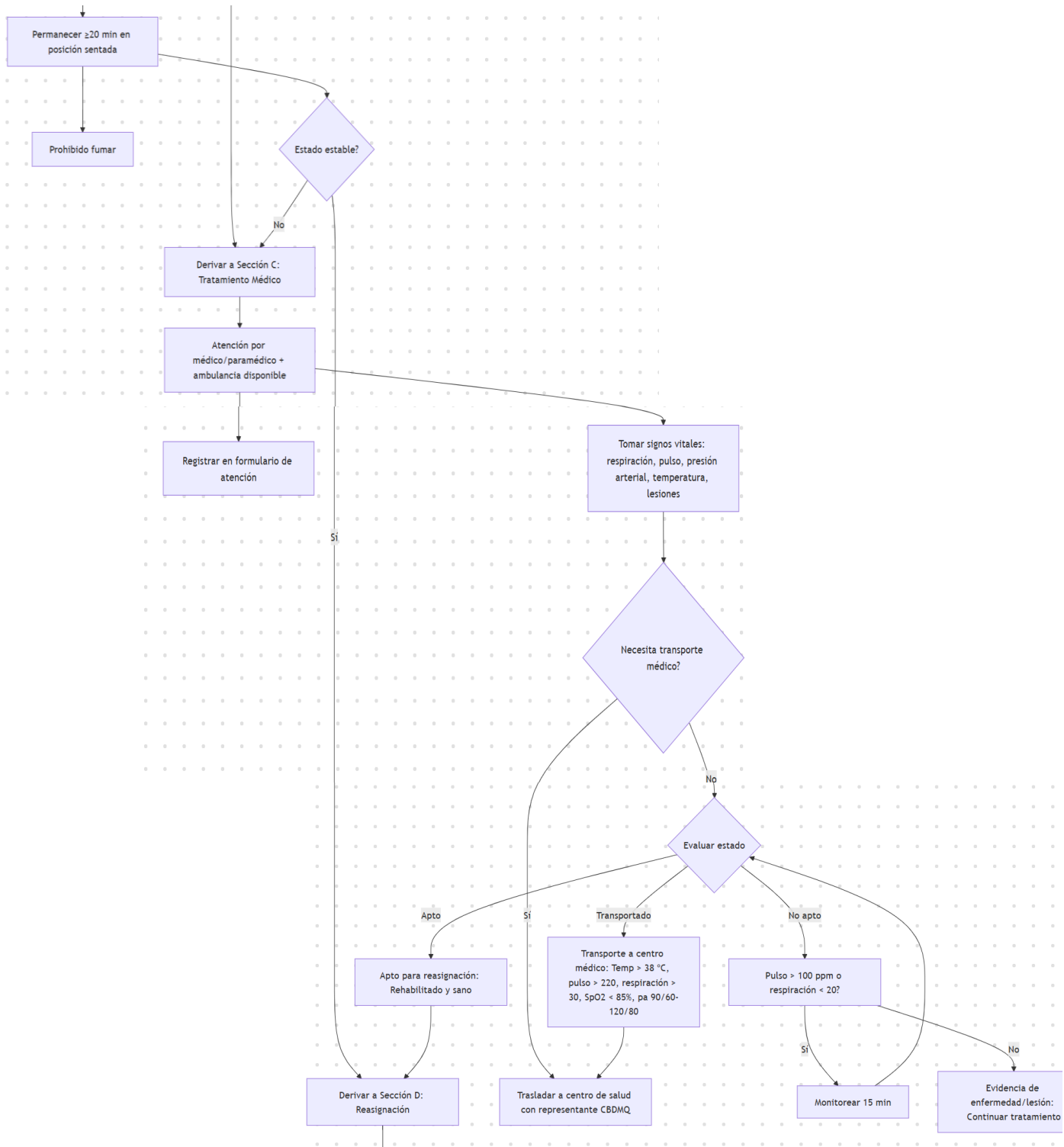
Sección C: Tratamiento Médico y Transporte

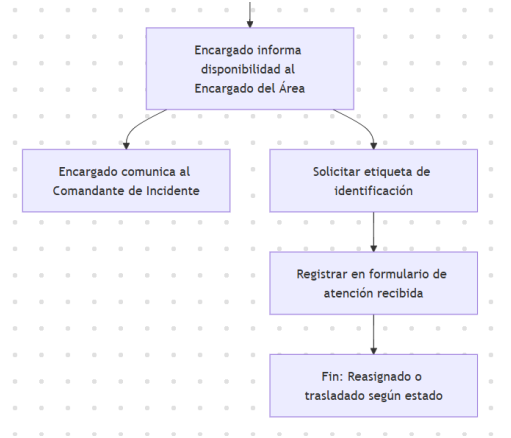
- Esta sección contará con un médico o un paramédico certificado y al menos 1 ambulancia.
- Se generará un formulario estándar de informe de atención por cada respondiente enviado a esta sección.
- Se tomará los siguientes signos vitales: respiración, pulso, presión arterial, temperatura corporal, enfermedades o lesiones evidentes.
- El médico o paramédico asignado informará al Encargado del Área de Rehabilitación sobre la necesidad de transporte médico y/o la necesidad de atención médica prolongada del respondiente debido a su condición física presente.
- Los respondientes que sean trasladados a un centro de salud deberán estar acompañados por un representante del CBDMQ.
- Una vez dados el alta de esta sección, el respondiente será derivado a la sección D -Reasignación-, con uno de los siguientes criterios:
 - Apto para reasignación -adecuadamente rehabilitado y médicamente sano-.
 - No Apto para reasignación -evidencia una enfermedad o lesión; se incluye cualquier persona con un pulso mayor a 120 ppm- y con una frecuencia respiratoria < 20 . En caso de presentar estos valores el respondiente deberá esperar 15 minutos en monitoreo.
 - Transportado a un centro médico -para una evaluación y tratamiento adicional de la enfermedad o lesión; se incluye cualquier miembro que tenga una temperatura mayor a 38°C , pulso mayor a 220, frecuencia respiratoria mayor a 30, saturación de oxígeno menor a 85% o una presión arterial fuera del rango de entre 90/60 mmHg y 120/80 mmHg (confirmar hipo-hipertensión).

Sección D: Reasignación

- El encargado de esta sección comunicará al Encargado del Área de Rehabilitación sobre la disponibilidad de los respondientes que hayan alcanzado esta sección. El Encargado del Área de Rehabilitación comunicará la disponibilidad al Comandante de Incidente.
- Antes de salir de esta sección, todo el personal respondiente deberá solicitar su identificación que fue entregada en la sección A y serán registrados en un formulario de atención recibida del Área de Rehabilitación.

Figura 17*Flujograma del Procedimiento del Área de Rehabilitación*





Nota: Elaborado por el investigador.

Anexos

Formato de Guía Rápida para atención en el Área de Rehabilitación	
Nombre:	
Fecha:	
Sección A: Punto de Entrada	
Si la respuesta es SÍ a cualquier pregunta de la Sección A, envíe a la Sección C para su evaluación.	
¿El pulso es mayor de 120?	Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
¿El CO es superior al 10%?	Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
¿Tiene dolor en el pecho, dificultad para respirar, náuseas o mareos?	Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
¿Tienen un estado mental alterado o dificultad para hablar?	Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
¿El paciente se ve o se siente enfermo?	Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Sección B: Hidratación y Reposición	
Ventilación Pasiva: Quitarse ERA o mochila forestal y EPP.	✓
Considerar usar Ventilación Activa: ventilador, chalecos o guantes de enfriamiento en al menos 10 minutos.	✓
Descanso de al menos 20 minutos.	✓
Consumir al menos 300 ml de agua o bebidas con electrolitos.	✓
La falta de una mejora gradual puede justificar un 2do. Ciclo de rehabilitación.	✓
Si la condición del respondedor no mejora o empeora, envíelo a la Sección C para monitorización.	
Sección C: Tratamiento Médico y Transporte	
Si la respuesta es SÍ a cualquier pregunta de la Sección 3, permanecer en esta para monitorización.	
¿Tiene dolor en el pecho, dificultad para respirar, náuseas o mareos?	Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
¿Tienen un estado mental alterado o dificultad para hablar?	Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
¿El respondedor se ve o se siente enfermo?	Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
¿La piel está caliente al tacto?	Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>

¿Se ha tomado signos vitales como: pulso, presión arterial, respiración, temperatura, saturación de oxígeno y estos están fuera de rango?	Sí <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Sección D: Reasignación		
Si el pulso es menor a 110 \Rightarrow Regresar al trabajo		
Si el pulso es igual o mayor a 110 \Rightarrow Repita el ciclo de rehabilitación 1 vez y vuelva a evaluar (15 min).		
Rechequeo: Si el pulso es menor a 110 \Rightarrow Regresar al trabajo		
Si el pulso sigue igual o mayor a 110 \Rightarrow Enviar a la Sección C.		

Guía de Monóxido de Carbono en el Cuerpo	
0-5%	Considerar normal
5-10%	Considerar normal en un fumador.
> 10%	Anormal en cualquier persona: considere oxígeno de alto flujo.
>15%	Significativamente anormal en cualquier persona con tratamiento obligatorio.

Síntomas de Golpe de Calor		
Náuseas	Frecuencia Cardíaca Rápida	Dificultad para respirar
Piel enrojecida	Confusión Mental	Deshidratación
Calambres	Ausencia de sudoración	Agotamiento
Dolor de Cabeza	Debilidad	Convulsión

Tabla 20*Guía de Frecuencia Cardíaca Máxima por Edad*

Guía de Frecuencia Cardíaca Máxima por Edad				
Edad	FCM		Edad	FCM
18	202		40	180
19	201		41	179
20	200		42	178
21	199		43	177
22	198		44	176
23	197		45	175
24	196		46	174
25	195		47	173
26	194		48	172
27	193		49	171
28	192		50	170
29	191		51	169
30	190		52	168
31	189		53	167
32	188		54	166
33	187		55	165
34	186		56	164
35	185		57	163
36	184		58	162
37	183		59	161
38	182		60	160
39	181		61	159

Nota: Autoría Propia.

Figura 21

Índice de Calor

TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (5)																				
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
57	43	49	56	64	72	81	91	101	112	124	136	149	163	177	192	208	224	241	258	277	296
56	43	49	55	62	70	78	87	97	107	118	130	142	155	169	183	198	213	229	246	264	282
55	43	48	54	60	68	75	84	93	103	113	124	135	148	161	174	188	203	218	234	251	268
54	42	47	53	59	65	72	80	89	98	108	118	129	140	153	165	179	193	208	223	239	255
53	42	46	51	57	63	70	77	85	93	103	112	123	134	145	157	170	183	197	212	227	242
52	42	46	50	55	61	67	74	81	89	98	107	117	127	138	149	161	174	187	201	215	230
51	41	45	49	54	59	64	71	78	85	93	101	111	120	131	141	153	165	177	190	204	218
50	41	44	48	52	57	62	68	74	81	88	96	105	114	124	134	144	156	167	180	193	206
49	41	43	47	50	55	59	65	71	77	84	91	99	108	117	126	137	147	158	170	182	195
48	40	43	45	49	53	57	62	67	73	80	87	94	102	110	119	129	139	149	160	172	184
47	40	42	44	47	51	55	59	64	70	76	82	89	96	104	113	121	131	141	151	162	173
46	39	41	43	46	49	53	57	61	66	72	78	84	91	98	106	114	123	132	142	152	163
45	39	40	42	44	47	50	54	58	63	68	73	79	86	92	100	107	116	124	133	143	153
44	38	39	41	43	46	48	52	55	60	64	69	75	81	87	94	101	108	116	125	134	143
43	38	39	40	42	44	46	49	53	57	61	65	70	76	82	88	94	101	109	117	125	134
42	37	38	39	40	42	45	47	50	54	57	62	66	71	77	82	88	95	102	109	117	125
41	37	37	38	39	41	43	45	48	51	54	58	62	67	72	77	83	89	95	102	109	116
40	36	36	37	38	39	41	43	46	48	51	55	59	63	67	72	77	83	88	95	101	108
39	35	36	36	37	38	39	41	43	46	49	52	55	59	63	67	72	77	82	88	94	100
38	35	35	35	36	37	38	39	41	43	46	49	52	55	59	63	67	71	76	81	87	92
37	34	34	34	35	35	36	38	39	41	43	46	48	51	55	58	62	66	70	75	80	85
36	33	33	33	34	34	35	36	38	39	41	43	46	48	51	54	58	61	65	69	74	78
35	33	32	32	33	33	34	35	36	37	39	41	43	45	48	50	53	57	60	64	68	72
34	32	32	31	32	32	33	33	34	35	37	38	40	42	44	47	49	52	55	58	62	66
33	31	31	31	31	31	31	32	33	34	35	36	38	40	41	43	46	48	51	54	57	60
32	30	30	30	30	30	31	31	32	33	34	36	37	39	40	42	44	47	49	51	54	58
31	29	29	29	29	29	29	30	30	31	32	33	34	35	36	38	39	41	43	45	47	49
30	28	28	28	28	28	28	29	29	30	30	31	32	33	34	35	36	38	39	41	42	44
29	28	27	27	27	27	28	28	28	29	29	30	30	31	32	33	34	35	36	37	38	40
28	27	27	27	27	27	27	27	27	28	28	28	29	29	30	31	31	32	33	34	35	36
27	26	26	26	26	26	26	26	27	27	27	27	28	28	28	29	29	30	30	31	31	32
26	25	25	25	25	25	26	26	26	26	26	27	27	27	27	27	27	28	28	28	28	28
25	24	24	24	25	25	25	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25
24	23	23	24	24	24	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	24	24	23	23
23	22	22	23	24	24	24	25	25	25	25	25	25	25	24	24	24	23	23	22	21	20
22	21	22	22	23	24	24	25	25	25	25	25	25	24	24	24	23	22	21	20	19	18
21	20	21	22	23	23	24	24	25	25	25	25	25	24	24	23	22	22	20	19	18	16
20	19	20	21	22	23	24	25	25	25	25	25	25	25	24	23	22	21	20	18	17	15

Nota: Imagen tomada de Bergstrom.

Categoría	Índice de Calor (°C)	Posibles problemas fisiológicos por exposición prolongada
Peligro Extremo	≥ 54	Golpe de calor.
Peligro	41-54	Insolación, calambres musculares, golpe de calor por actividad física.
Alerta Extrema	32-41	Insolación, calambres, agotamiento por calor o actividad física.
Alerta	27-32	Posible fatiga por exposición o actividad física.

Recursos: Suministros y equipos

Uno de los puntos más importantes del Área de Rehabilitación, además del recurso humano y el conocimiento, es el abastecer con los equipos tecnológicos necesarios e insumos alimenticios para brindar un servicio eficiente.

Según la NFPA (2022), los suministros mínimos que debe contar un Área de Rehabilitación son:

- Líquidos: agua, bebidas hidratantes, bebidas con electrolitos, líquidos con reposición de glucógeno y hielo.
- Alimentación: comida balanceada caliente, refrigerios, barras energéticas, galletas.
- Equipos médicos: tensiómetros, fonendoscopios, termómetros, oxímetros, monitores cardíacos, catres o camillas, cilindros de oxígenos, medidor de saturación de monóxido de carbono, soluciones intravenosas, mascarillas de oxígeno, medidor de glucosa, maleta de primeros auxilios avanzados, etc.
- Otros: chalecos, toldos, carpas, ventiladores, hieleras, ropa seca, baldes plásticos, reflectores, mantas, toallas, mesas plegables, sillas, conos de seguridad, dispensador de agua, refrigerador pequeño, microondas, ducha portátil, fundas de basura, insumos de oficina, etc. Para generar una ventilación activa se podría gestionar: ventilador nebulizador, chaleco de enfriamiento y mangas o guantes de enfriamiento.

Tabla de estimación de costos referenciales

Tabla 21

Tabla de estimación de costos referenciales sobre la implementación

Categoría	Cantidad	Ítem	Precio unitario	Precio subtotal
Equipos médicos	2	Tensiómetros	\$ 40.00	\$ 80.00
	2	Fonendoscopio	\$ 55.00	\$ 110.00

	2	Termómetros digitales	\$ 10.00	\$ 20.00
	2	Oxímetros	\$ 10.00	\$ 20.00
	1	Glucómetros	\$ 80.00	\$ 80.00
	1	Monitor cardiaco multiparámetros	\$ 700.00	\$ 700.00
	2	Cilindros de oxígeno	\$ 150.00	\$ 300.00
	1	Cooxímetro	\$ 550.00	\$ 550.00
	4	Mascarillas de oxígeno	\$ 5.00	\$ 20.00
	2	Camillas	\$ 200.00	\$ 400.00
	4	Soluciones intravenosas	\$ 1.50	\$ 6.00
	4	Equipos de venoclisis	\$ 1.00	\$ 4.00
	4	Catlones/catéter	\$ 1.00	\$ 4.00
	1	Maleta de primeros auxilios avanzados equipada	\$ 100.00	\$ 100.00
Alimentación/Líquidos	4	Botellones de agua	\$ 5.00	\$ 20.00
	20	Bebidas hidratantes	\$ 1.00	\$ 20.00
	10	Bebidas con electrolitos	\$ 4.00	\$ 40.00
	4	Fundas de Hielo	\$ 1.00	\$ 4.00
	20	Barras energéticas	\$ 1.00	\$ 20.00
	20	Galletas o snacks	\$ 0.40	\$ 8.00
	20	Refrigerios fríos	\$ 1.00	\$ 20.00
	20	Porciones de comida	\$ 2.00	\$ 40.00
Otros/Mobiliario	1	Kit de Chalecos (5)	\$ 30.00	\$ 30.00
	1	Carpa	\$ 200.00	\$ 200.00
	1	Ventilador	\$ 45.00	\$ 45.00
	2	Hieleras portátiles 45 ltrs	\$ 100.00	\$ 200.00
	4	Pijamas	\$ 10.00	\$ 40.00
	4	Baldes plásticos	\$ 4.00	\$ 16.00
	4	Mantas térmicas	\$ 5.00	\$ 20.00

	4	Toallas	\$ 5.00	\$ 20.00
	1	Dispensador de agua	\$ 50.00	\$ 50.00
	1	Reflector	\$ 25.00	\$ 25.00
	2	Mesas plegables	\$ 45.00	\$ 90.00
	10	Sillas	\$ 25.00	\$ 250.00
	5	Conos de seguridad	\$ 20.00	\$ 100.00
	1	Ducha portátil	\$ 50.00	\$ 50.00
	1	Refrigerador pequeño	\$ 120.00	\$ 120.00
	1	Microondas	\$ 120.00	\$ 120.00
	1	Paquete de fundas de basura	\$ 1.00	\$ 1.00
	1	Insumos de oficina	\$ 20.00	\$ 20.00
	1	Chaleco de enfriamiento	\$ 200.00	\$ 200.00
	1	Mangas de enfriamiento	\$ 150.00	\$ 150.00
		Total		\$ 4313.00

Nota: Autoría Propia.

Comparativa inversión vs beneficios

Inversión estimada (ejemplo simplificado):

Total referencial: \$ 4313.00

¿Qué se ganaría?

- Salud y bienestar del personal de bomberos: recuperación más rápida frente a la fatiga y estrés por calor, debido al descanso y soporte médico.
- Eficiencia operativa: menor tiempo de recuperación, es decir, se tendrá una disponibilidad más segura y real del personal.
- Impacto social e imagen institucional: debido a la respuesta profesional y responsabilidad con el personal, se incrementará el nivel de aceptación por parte del cliente interno, es decir, el personal de bomberos forestales.
- Ahorro en costos médicos y operativos: evita hospitalización, incapacidades

parciales, completas o permanentes, y reemplazos de personal.

Más allá de los beneficios económicos, este proyecto fortalece el compromiso institucional con la salud, la vida y la seguridad del personal de respondientes. Brindar condiciones adecuadas para su recuperación refleja una cultura organizacional basada en la prevención, el respeto al ser humano y la excelencia profesional, así como un buen cumplimiento en apego a las políticas institucionales como son las normas ISO 9001 - Sistemas de Gestión de Calidad- e ISO 45001 -Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo-.

Desde la perspectiva social, la comunidad percibe a un cuerpo de bomberos comprometido, profesional, bien estructurado y sensible a las necesidades de su personal operativo. Esta imagen de responsabilidad genera confianza, respaldo ciudadano y refuerza el vínculo entre la institución y la sociedad en general.

Además, esta iniciativa sienta un precedente en la región, pudiendo convertirse en un modelo replicable y en una buena práctica en la gestión del talento humano en situaciones de emergencia para los demás cuerpos de bomberos.

Ejemplo de costo evitado (escenario hipotético):

El 27 de septiembre de 2024, sufrió un accidente laboral un respondiente en tareas de extinción en un incendio forestal de magnitud -Nivel 3-, el bombero había trabajado dos días seguidos en el mismo incendio con las condiciones actuales institucionales en tema de rehabilitación, se presume que, por agotamiento físico bajó su estado de alerta lo que ocasionó un descuido y resbalase en un terreno irregular. El bombero fue trasladado en una ambulancia hacia una casa de salud y fue posterior intervenido quirúrgicamente de la rodilla por rotura de ligamentos lo que originó un reposo por la cirugía y rehabilitación de aproximadamente 4 meses. Tomaremos este ejemplo para realizar un cálculo.

Transporte: promedio de \$120.00 (se tomó de referencia que en el mercado cuesta \$60.00 x hora). Si bien es cierto, la ambulancia que transportó era del CBDMQ, se tomará ese precio referencial.

Hospitalización: promedio \$1200.00 (se tomó de referencia el costo de la clínica en la que fue atendido, era de \$300 x 4 días, hasta el día de postcirugía).

Cirugía: promedio \$5000.00 (incluye el costo por servicios profesionales, quirófano, anesthesiólogo, insumos, etc.).

Rehabilitación física: promedio \$1200 (se tomó de referencia que en el mercado cuesta \$20.00 x sesión, y necesitó al menos 60 sesiones para estar operativo).

Baja temporal de 120 días: promedio \$4400.00 (se tomó de referencia el sueldo que gana el grado ocupacional del bombero que es de \$1100 x 4 meses de ausencia médica; no se formuló el costo por sustitución de personal lo que podría generar sobrecarga operativa).

Impacto psicológico y nivel de confianza del bombero: No medido.

Total evitado potencial: \approx \$11920.00 por el accidente laboral.

Comparativa:

Invertir \approx \$4313.00 en un Área de Rehabilitación podría evitar incidentes o accidentes graves cuyo costo aproximado, según el ejemplo, sería de \approx \$11920.00, además de preservar la salud del bombero y su nivel de confianza, lo que no es cuantificable en valor monetario, pero sí en reputación y seguridad institucional.

La inversión en el Área de Rehabilitación para incendios forestales de periodos operacionales extensos debe entenderse como una estrategia de prevención y optimización operativa. Un solo accidente laboral implica gastos médicos, hospitalarios y logísticos que superan los \approx \$11920.00, sin considerar las consecuencias humanas ni la afectación a la moral del grupo de trabajo.

Por lo tanto, la implementación del Área de Rehabilitación permitiría atender oportunamente signos de descompensación y fatiga, evitando complicaciones mayores y reduciendo el riesgo de incapacidades, descansos médicos o pérdida de personal. Esto se traduce en ahorro económico, continuidad del servicio, mayor efectividad operativa y confianza institucional por parte de sus trabajadores.

Conclusiones y Recomendaciones sobre la implementación

Implementar un Área de Rehabilitación para Incendios Forestales de periodos operacionales extensos con base a los lineamientos de la NFPA 1584, representa una

inversión estratégica en salud ocupacional, eficiencia operativa y gestión institucional. Por lo tanto, se recomienda:

- Adquirir progresivamente los recursos necesarios, priorizando los de mayor impacto y beneficio.
- Generar un procedimiento institucional para la activación y funcionamiento del Área de Rehabilitación para Incendios Forestales de periodos operacionales extensos.
- Capacitar al personal sobre el procedimiento de la implementación y uso del Área de Rehabilitación para Incendios Forestales de periodos operacionales extensos; además de capacitar acerca de los efectos por estrés térmico.
- Evaluar periódicamente la eficacia del sistema implementado, haciendo mejoras continuas según la experiencia, referencia de los usuarios y demás requerimientos operativos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se concluye que sí existe una relación significativa entre el estrés térmico y la fatiga muscular en el personal de bomberos de la Brigada de Respuesta a Incendios Forestales-BRIF del Cuerpo de Bomberos del DMQ durante las tareas de incendios forestales; esta relación se evidencia principalmente en la correlación estadística observada entre el WBGT y la FPM medida después de la tarea ($\rho = 0,357$; $p = 0,019$), lo que indica que la exposición al estrés térmico contribuye directamente en la fatiga muscular durante las operaciones realizadas, destacando la necesidad de intervenciones preventivas para proteger la salud y el rendimiento del personal de bomberos.

El nivel de estrés térmico en los bomberos evaluados es predominantemente moderado, con el 86% de los casos (37 bomberos) ubicándose en alerta amarilla según el índice WBGTref, lo que implica un riesgo que requiere precauciones inmediatas como hidratación y descansos. Estos resultados indican que la mayoría del personal enfrenta condiciones térmicas potencialmente peligrosas durante las tareas de control de incendios forestales y más si se tiene una exposición recurrente a este tipo de eventos.

El nivel de fatiga muscular es significativo y se manifiesta en una disminución notable de la fuerza de prensión manual -FPM-. Inicialmente, todos los participantes se encontraban dentro del rango “normal” según el baremo del instrumento utilizado; sin embargo, al finalizar la tarea, el 65,1%, es decir, aproximadamente dos tercios, se ubicó en el nivel “débil”, mientras que solo el 34,9% mantuvo valores normales. Este cambio demuestra que el esfuerzo físico de la actividad de respuesta forestal combinado con la exposición al calor genera un estado de fatiga muscular en la mayoría del grupo, afectando su capacidad para realizar tareas exigentes por largos periodos.

La correlación entre el estrés térmico, WBGT, y la fatiga muscular, FPM, es significativa en el contexto de la post-tarea, con un coeficiente de Spearman de $\rho = 0,357$ ($p = 0,019$) para la mejor toma de fuerza de prensión manual después de la actividad. Esta asociación sugiere que el calor ambiental, la intensidad de la actividad y el EPP, influyen directamente en la reducción inmediata de la capacidad muscular. Sin embargo, no se observaron correlaciones significativas con la fuerza pre-tarea, la diferencia entre mediciones

o el resultado de fatiga del Test de Yoshitake, lo que indica que los efectos del estrés térmico son más evidentes en mediciones objetivas de fuerza que en la percepción subjetiva de fatiga, resaltando la sensibilidad de pruebas objetivas como la FPM para detectar impactos térmicos.

Dado que los resultados revelan una exposición significativa a estrés térmico en el 86% de los casos y su relación con la fatiga muscular, se concluye que es imperativo generar propuestas de prevención y control para estrés térmico en las operaciones forestales para el personal de la BRIF del CBDMQ. La primera propuesta se trata de un programa de capacitación para el personal que brindará las competencias necesarias para prevenir, identificar y actuar ante situaciones de estrés térmico durante operaciones en incendios forestales; este, combina la exposición participativa, análisis de casos reales y talleres prácticos, utilizando recursos interactivos y evaluaciones en línea. La segunda propuesta se trata de un Procedimiento de Implementación de un Área de Rehabilitación para Incendios Forestales de Periodos Operacionales Extensos con base a la NFPA 1584, el mismo que incluye un formato de guía rápida para la atención de los respondientes y una tabla de estimación de costos para la implementación.

Recomendaciones

Se recomienda utilizar medidores portátiles cualitativos para medir el WBGT en tiempo real durante incendios forestales de periodos operacionales extensos, nivel 3, para establecer umbrales de alertas, por ejemplo, verde: continuar; amarilla: precaución; roja: suspender; el dispositivo será entregado a los líderes de cuadrilla para una identificación pronta y se manejará alertas, microdescansos e hidratación, desde una alerta amarilla o cuando se haya alcanzado al tiempo máximo de trabajo permitido según recomiende la norma.

Incorporar pruebas objetivas de fatiga muscular como la fuerza de prensión manual, FPM, en chequeos rutinarios, antes y después de activaciones, operaciones de incendios de nivel 3 y misiones interinstitucionales; con el fin de tener un indicador más, la FPM, como muestra de salud del respondiente y llevar registro de estos.

Realizar cursos, charlas o talleres anuales sobre el reconocimiento de síntomas de estrés térmico, fatiga muscular y sus consecuencias, así como medidas de control para estos. Esto ayudará a que el personal reporte oportunamente, reduciendo riesgos en la salud,

promoviendo la seguridad del grupo y generando tiempos de recuperación para optimizar la disponibilidad del recurso humano.

Finalmente, se recomienda poder extender la aplicabilidad de la metodología utilizada para evaluar las variables estudiadas, estrés térmico y fatiga muscular, así como las propuestas de prevención y control generadas, a los demás grupos especializados que cuenta el CBDMQ.

REFERENCIAS

- Academia Nacional de Bomberos de Chile. (2020). *Control de Incendios Forestales para Bomberos*. <https://n9.cl/jdcd5>
- ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). (2017). *Heat Stress and Strain: TLV Physical Agents 7th Edition Documentation*. ACGIH. <https://www.acgih.org/heat-stress-and-strain-2/>
- Agostinelli, P. J., Bordonie, N. C., Robbins, A. M., Jones, P. L., Reagan, L. F., Mobley, C. B., Miller, M. W., Murrah, W. M., & Sefton, J. M. (2024). Impact of acute exercise on performance and physiological stress during simulated firefighter occupational tasks. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-81015-8>
- Alves, S. B., Vaz, J. A., & Fernandes, A. (2023). Occupational health of firefighters: A systematic review. *International Symposium on Occupational Safety and Hygiene: Proceedings Book of the SHO2023*, 26–66. DOI: [10.24840/978-989-54863-4-2_0056-0066](https://doi.org/10.24840/978-989-54863-4-2_0056-0066)
- Arellano, A. (2025, de enero). *Desde México hasta Argentina: la crisis de incendios llega a Latinoamérica tras la emergencia en Los Ángeles*. MONGABAY. <https://n9.cl/qsw80b>
- ASAMBLEA NACIONAL DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. (20 de octubre de 2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Registro Oficial 449 de 20-oct.-2008. <https://n9.cl/41evj>
- ASAMBLEA NACIONAL DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. (2005). *Código del Trabajo*. Registro Oficial 167 de 16-dic.-2005. <https://n9.cl/8osy6>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2010). *Ley Orgánica del Servicio Público (LOSEP)*. Registro Oficial Suplemento 294 de 6 de octubre de 2010. <https://n9.cl/85zgn>
- Asociación Nacional de Protección contra Incendios [NFPA]. (2022). *NFPA 1584: Norma sobre el proceso de rehabilitación para miembros durante operaciones de emergencia y ejercicios de entrenamiento*. NFPA. <https://www.nfpa.org/es/codes-and-standards/nfpa-1584-standard-development/1584>

- Asociación Nacional de Protección contra Incendios [NFPA]. (2025). *NFPA 1580: Norma sobre programas médicos ocupacionales integrales para departamentos de bomberos*. NFPA. <https://www.nfpa.org/>
- Asociación Nacional de Protección contra Incendios. (2022). *NFPA 1977: Norma sobre ropa y equipo de protección para la extinción de incendios forestales*. NFPA. <https://n9.cl/k0vswc>
- Bach, A. J. E., Maley, M. J., Minett, G. M., & Stewart, I. B. (2018). Occupational cooling practices of emergency first responders in the United States: A survey. *Temperature (Austin, Tex.)*, 5(4), 348–358. <https://doi.org/10.1080/23328940.2018.1493907>
- Barker, R., Fang, X., Deaton, S., DenHartog, E., Gao, H., Tutterow, R., & Schmid, M. (2022). Identifying factors that contribute to structural firefighter heat strain in North America. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics: JOSE*, 28(4), 2183–2192. <https://doi.org/10.1080/10803548.2021.1987024>
- Beauchamp, T., & Childress, J. (2011). *Principios de ética biomédica*. Universidad Central de Venezuela. <https://n9.cl/7tk3v>
- Bergström, J., Hermansen, L., Hultman, E., & Saltin, B. (1967). Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta Physiologica Scandinavica*, 71(2-3), 140-150. DOI: [10.1111/j.1748-1716.1967.tb03720.x](https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1967.tb03720.x)
- Burtscher, J., Gatterer, H., & Burtscher, M. (2021). Effects of Heat and Altitude on Firefighters: Strategies to Mitigate the Risks. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 1113. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031113>
- Caldwell, J. N., Taylor, N. A. S., & Carter, J. M. (2020). Thermal strain, heat exhaustion, and physiological fatigue in extreme work environments. *Journal of Occupational Health*, 62(1), e12100. <https://doi.org/10.1002/1348-9585.12100>
- California Department of Forestry and Fire Protection [CAL FIRE]. (2014). *Wildland Urban Interface Operating Principles*. <https://n9.cl/cme3c7>

- Canetti, EFD; Gayton, S.; Schram, B.; Pope, R.; Orr, RM. (2022). Indicadores psicológicos, físicos y de estrés térmico antes y después de una tarea de 15 minutos de extinción de incendios estructurales. *Biología*, 11, 104. <https://doi.org/10.3390/biology11010104>
- Carballo-Leyenda, B., Villa-Vicente, J. G., Delogu, G. M., Rodríguez-Marroyo, J. A., & Molina-Terrén, D. M. (2022). Perceptions of heat stress, heat strain and mitigation practices in wildfire suppression across southern Europe and Latin America. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19), 12288. <https://doi.org/10.3390/ijerph191912288>
- Colegio Americano de Medicina del Deporte [ACSM]. (2021). *Directrices del ACSM para la evaluación y prescripción de ejercicios (11.ª ed.)*. Wolters Kluwer. <https://acsm.org/education-resources/books/guidelines-exercise-testing-prescription/>
- Committee on Military Nutrition Research, & Institute of Medicine. (1993). *Nutritional needs in hot environments: Applications for military personnel in field operations*. National Academies Press. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK236233/>
- Comunidad Andina. (2004). *Instrumento Andino de Seguridad y Salud en el Trabajo: Decisión 584*. <https://www.comunidadandina.org/normativa-andina/decisiones/>
- Cuenca-Lozano, M. F., & Ramírez-García, C. O. (2023). Occupational hazards in firefighting: Systematic literature review. *Safety and Health at Work*, 14(1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2023.01.005>
- Cuerpo de Bomberos del Distrito Metropolitano de Quito [CBDMQ]. (2023, junio). Estatuto Orgánico por Procesos. Resolución No. 66-CAP-CBDMQ-2023. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-central-del-ecuador/derecho-administrativo-i/2023-jul-estatuto-organico-por-procesos-66/72082653>
- Cuerpo de Bomberos del Distrito Metropolitano de Quito [CBDMQ]. (24 de mayo de 2025). *Unidad de Incendios Forestales*. <https://www.bomberosquito.gob.ec/unidades/incendios-forestales/>

- Cuerpo de Bomberos del Distrito Metropolitano de Quito [CBDMQ]. (2025). *Incendios forestales atendidos por el CBDMQ periodo 2021-2024*. Unidad Comando de Incidentes.
- Cuerpo de Bomberos del Distrito Metropolitano de Quito [CBDMQ]. (2025). *Instructivo para la gestión de bomberos forestales de temporada / conductores forestales de temporada*. Intranet CBDMQ.
- Cuerpo de Bomberos del Distrito Metropolitano de Quito [CBDMQ]. (2025). *Instructivo para la clasificación de quema de desechos y manejo de incendios forestales por niveles*. Intranet CBDMQ.
- Diario Correo. (2023, 25 de septiembre). *Bombero murió con quemaduras tras combatir incendio forestal*. <https://n9.cl/q957ry>
- Díaz, T. (2025). *Estrés térmico y su influencia en la salud del personal de la Brigada de Incendios del CBDMQ, 2024* [Tesis de maestría, Universidad Técnica del Norte]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/16812>
- El Telégrafo. (2015, 24 de septiembre). *Incendios forestales quemaron 3.102 hectáreas en Quito*. <https://n9.cl/x319tb>
- Fatigue Science. (2025). *Gestión de la fatiga: La guía definitiva para gestionar el riesgo de fatiga en el trabajo*. <https://fatiguescience.com/es/fatigue-management-guide>
- Fitts, R. (1994). Cellular_mechanisms_of_muscle fatigue. *Physiological Reviews*, 74(1), 49–94. <https://doi.org/10.1152/physrev.1994.74.1.49>
- Fullagar, H. H. K., Schwarz, E., Richardson, A., Notley, S. R., Lu, D., & Duffield, R. (2021). Australian firefighters perceptions of heat stress, fatigue and recovery practices during fire-fighting tasks in extreme environments. *Applied Ergonomics*, 95(103449), 103449. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103449>
- Fullagar, H., Notley, S. R., Fransen, J., Richardson, A., Stadnyk, A., Lu, D., Brown, G., & Duffield, R. (2022). Cooling strategies for firefighters: Effects on physiological, physical, and visuo-motor outcomes following fire-fighting tasks in the heat. *Journal*

- of *Thermal Biology*, 106(103236), 103236.
<https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2022.103236>
- Games, K. E., Winkelmann, Z. K., McGinnis, K. D., McAdam, J. S., Pascoe, D. D., & Sefton, J. M. (2020). Functional performance of firefighters after exposure to environmental conditions and exercise. *Journal of Athletic Training*, 55(1), 71–79.
<https://doi.org/10.4085/1062-6050-75-18>
- Gandevia, S. C. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiological Reviews*, 81(4), 1725-1789.
<https://doi.org/10.1152/physrev.2001.81.4.1725>
- Garcia, A. F., Lopes, R. A., & Silva, R. R. (2021). Occupational Heat Exposure and Muscle Fatigue in Firefighters: An Experimental Study. *Safety and Health at Work*, 12(4), 447–453. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2021.03.007>
- García-Heras F, Rodríguez-Medina J, Castañeda A, León-Guereño P, Gutiérrez-Arroyo J. Occupational Injuries of Spanish Wildland Firefighters: A Descriptive Analysis. (2024). *Healthcare (Basel)*, 12(16):1615. doi:10.3390/healthcare12161615.
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11354085/>
- Ghiyasi, S., Nabizadeh, H., Jazari, M. D., Soltanzadeh, A., Heidari, H., Fardi, A., & Movahed, E. (2020). The effect of personal protective equipment on thermal stress: An experimental study on firefighters. *Work (Reading, Mass.)*, 67(1), 141–147.
<https://doi.org/10.3233/wor-203259>
- Glover, K. G., Kahn, S. A., & Mittal, R. (2024). 104 wildland firefighters suffer increasing risk of job-related death. *Journal of Burn Care & Research: Official Publication of the American Burn Association*, 45(Supplement_1), 84–84.
<https://doi.org/10.1093/jbcr/irae036.103>
- Gómez-Campos, R., Cossio-Bolaños, M. A., Brousett Minaya, M., & Hochmuller-Fogaca, R. T. (2010). Mecanismos implicados en la fatiga aguda. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 10(40), 537–555.
<http://cdeporte.rediris.es/revista/revista40/artmecanismo171.htm>

- Groot, E., Caturay, A., Khan, Y., & Copes, R. (2019). A systematic review of the health impacts of occupational exposure to wildland fires. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 32(2), 121–140. <https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.01326>
- Guidotti, T. (2012). ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO. Servicios de seguridad y emergencias (pp. 95.2-95.9).
- Havenith, G. (1999). Heat balance when wearing protective clothing. *The Annals of Occupational Hygiene*, 43(5), 289–296. [https://doi.org/10.1016/s0003-4878\(99\)00051-4](https://doi.org/10.1016/s0003-4878(99)00051-4)
- Havenith, G. (2001). Individualized model of human thermoregulation for the simulation of heat stress response. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 90(5), 1943–1954. <https://doi.org/10.1152/jappl.2001.90.5.1943>
- Heil, D. (2002). Estimating energy expenditure in wildland fire fighters using a physical activity monitor. *Applied Ergonomics*, 33(5), 405–413. [https://doi.org/10.1016/s0003-6870\(02\)00042-x](https://doi.org/10.1016/s0003-6870(02)00042-x)
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación (6.ª ed.)*. McGraw-Hill.
- Hirshkowitz, M., Whiton, K., Albert, S. M., Alessi, C., Bruni, O., DonCarlos, L., ... & Adams Hillard, P. J. (2015). National Sleep Foundation's sleep time duration recommendations: Methodology and results summary. *Sleep Health*, 1(1), 40-43. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2014.12.010>
- Horn, G. P., Stewart, J. W., Kesler, R. M., DeBlois, J. P., Kerber, S., Fent, K. W., Scott, W. S., Fernhall, B., & Smith, D. L. (2019). Firefighter and fire instructor's physiological responses and safety in various training fire environments. *Safety Science*, 116, 287–294. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.03.017>
- IBM Corp. (2016). *IBM SPSS Statistics for Windows (Versión 23.0)* [Software]. IBM Corp. <https://www.ibm.com/es-es/spss>

- Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social. (2017). *Resolución C.D. 513. SEGURO GENERAL DE RIESGOS DEL TRABAJO*. <https://n9.cl/ywuz4>
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2017). Accidentes de trabajos investigados. <https://n9.cl/h7ixe2>
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (1993). *NTP 323: Determinación del metabolismo energético en el trabajo*. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, España. <https://n9.cl/yhndq0>
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2011). *NTP 922: Estrés térmico y sobrecarga térmica: evaluación de los riesgos (I)*. Ministerio de Trabajo e Inmigración. <https://n9.cl/5j226>
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2023). *NTP 1189: Evaluación del riesgo de estrés térmico: Índice WBGT*. Ministerio de Trabajo y Economía Social. <https://www.insst.es/>
- Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud. (2019). *Exposición laboral a estrés térmico por calor y sus efectos en la salud. ¿Qué hay que saber?* <https://n9.cl/c4wgf>
- International Association of Wildland Fire. (2020). *Wildland firefighter training and certification standards*. <https://www.iawfonline.org/>
- Ioannou, L. G., Foster, J., & Havenith, G. (2022). Occupational heat stress: Impacts and mitigation strategies. *Current Environmental Health Reports*, 9(2), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s40572-022-00326-0>
- ISO 11226:2000. (2000). *Ergonomics — Evaluation of static working postures*. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/25573.html>
- ISO 7243:2017. (2017). *Ergonomía del entorno térmico: evaluación del estrés térmico mediante el índice WBGT (temperatura de globo y bulbo húmedo)*. International Organization for Standardization. <https://n9.cl/24otx>

- ISO 7726:1998. (1998). *Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities*. International Organization for Standardization. <https://n9.cl/mtfyg>
- ISO 8996:2021. (2021). *Ergonomics of the thermal environment — Determination of metabolic rate*. International Organization for Standardization. <https://cdn.standards.itech.ai/samples/74443/725ee645e4734f9c8e09c102e0d4e6ab/ISO-FDIS-8996.pdf>
- ISO 9886:2004. (2004). *Ergonomics — Evaluation of thermal strain by physiological measurements*. International Organization for Standardization. <https://n9.cl/19elfe>
- Ives, S. J., Lefferts, W. K., Wharton, M., Fehling, P. C., & Smith, D. L. (2016). Exercise-induced heat stress disrupts the shear-dilatory relationship. *Experimental Physiology*, *101*(12), 1541–1551. <https://doi.org/10.1113/EP085828>
- Kenny, G. P., & Flouris, A. D. (2014). The human thermoregulatory system and its response to thermal stress. En *Protective Clothing* (pp. 319–365). Elsevier. DOI:[10.1533/9781782420408.3.319](https://doi.org/10.1533/9781782420408.3.319)
- Kesler, R. M., Ensari, I., Bollaert, R. E., Motl, R. W., Hsiao-Wecksler, E. T., Rosengren, K. S., Fernhall, B., Smith, D. L., & Horn, G. P. (2018). Physiological response to firefighting activities of various work cycles using extended duration and prototype SCBA. *Ergonomics*, *61*(3), 390–403. <https://doi.org/10.1080/00140139.2017.1360519>
- Li, Z., McKenna, Z. J., Kuennen, M. R., Magalhães, F. de C., Mermier, C. M., & Amorim, F. T. (2021). The potential role of exercise-induced muscle damage in exertional heat stroke. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *51*(5), 863–872. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01427-8>
- Mani, A., Musolin, K., James, K., Bhattachary, A., Kincer, G., Alexander, B., Succop, P., Lovett, W., Jetter, W. (2013). Factores de riesgo asociados al entrenamiento con fuego real: Acumulación de estrés térmico y fatiga, recuperación y función de los microdescansos. *Ergonomía Ocupacional*, *11*(2-3):109-121. doi: [10.3233/OER-130212](https://doi.org/10.3233/OER-130212)

- Martínez, J. (2013). Fatiga, Tipos y Causas. *Revista cubana de medicina del deporte y la cultura física*, Vol. 8, Núm. 3. <https://revmedep.sld.cu/index.php/medep/article/download/233/250/1188>
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2015). *Exercise physiology: Nutrition, energy, and human performance (8th ed.)*. Wolters Kluwer Health. ISBN: 9780781797818
- McLellan, T. M., Daanen, H. A. M., & Cheung, S. S. (2013). Encapsulated environment. *Comprehensive Physiology*, 3(3), 1363–1391. <https://doi.org/10.1002/cphy.c130002>
- Meléndez López, J. M. A., González Muñoz, E. L., & González Baltazar, R. (2018). Fatiga laboral, mediante la aplicación del SOFI-SM en bomberos mexicanos. *Revista Colombiana de Salud Ocupacional*, 8(1), e5104. https://doi.org/10.18041/2322-634X/rc_salud_ocupa.1.2018.5104
- Ministerio de Salud Pública del Ecuador. (2016). Acuerdo Ministerial 5316: *Modelo de gestión de aplicación del consentimiento informado en la práctica asistencial*. Registro Oficial No. 510, 22 de febrero de 2016. <https://n9.cl/25re2>
- Ministerio de Salud Pública. (2015). *Acuerdo Ministerial 5216: Reglamento de información confidencial en el Sistema Nacional de Salud*. Registro Oficial Suplemento No. 427, 29 de enero de 2015. <https://n9.cl/d38aw>
- Ministerio del Trabajo de Ecuador. (2025). *Anexo 3 Norma Técnica en Seguridad e Higiene en el Trabajo*. <https://www.trabajo.gob.ec>
- Ministerio del Trabajo del Ecuador. (2024, 26 de noviembre). *Acuerdo Ministerial Nro. MDT-2024-196: Normas generales para el cumplimiento y control de las obligaciones laborales en materia de seguridad y salud en el trabajo*. Registro Oficial Cuarto Suplemento N° 691. <https://vlex.ec/vid/acuerdo-mdt-2024-196-1060080100>
- Ministerio del Trabajo del Ecuador. (2024, noviembre). *Anexo 3: Norma Técnica de Seguridad e Higiene del Trabajo*. <https://n9.cl/y6taa2>
- Moreno, A. (2016). Deshidratación: *Demonios del running*. Sport Life, 204. <https://www.calameo.com/books/0042255447601b9e1e0f8>

- Moreno, J. (2018). LA FATIGA, TIPOS CAUSAS Y EFECTOS. *Revista Digital: Actividad Física Y Deporte*, 3(2). <https://doi.org/10.31910/rdafd.v3.n2.2017.376>
- Motorola Solutions. (2025). *Radios portátiles de dos vías Serie DGP™8000e/DGP™5000e*. <https://n9.cl/032bhp>
- National Fire Protection Association [NFPA]. (2021). *NFPA 1500 Norma sobre Programas de Seguridad y Salud Ocupacional para Departamentos de Bomberos*. <https://www.nfpa.org/es>
- National Fire Protection Association. (2022). *NFPA 1580: Standard on the Health and Wellness Program for Fire Department Members*. <https://www.nfpa.org/>
- National Institute for Occupational Safety and Health [NIOSH]. (2016). *Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Heat and Hot Environments (Revised Criteria 2016)*. U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2016-106/pdfs/2016-106.pdf>
- National Wildfire Coordinating Group. (2022). *NWCG Standards for Prescribed Fire Planning and Implementation*. <https://n9.cl/651a5>
- NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health). (2016). *Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Heat and Hot Environments*. (Publication No. 2016-106). U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2016-106/default.html>
- Nybo, L., & Nielsen, B. (2001). Hyperthermia and central fatigue during prolonged exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 91(3), 1055-1060. <https://doi.org/10.1152/jappl.2001.91.3.1055>
- OCHA. (2024, 26 de septiembre). *Ecuador - Incendios forestales, actualización (JRC GWIS, medios) (ECHO Daily Flash del 26 de septiembre de 2024)*. ReliefWeb. <https://n9.cl/ur4im>

- Oficina Internacional del Trabajo (OIT). (2020). *Trabajar En Un Planeta más Caliente: El Impacto Del Estrés térmico En La Productividad Laboral y El Trabajo Decente*. International Labour Office. <https://n9.cl/a83gm>
- Oficina Internacional del Trabajo. (2018). *Seguridad y salud en el trabajo: Un enfoque integrado*. OIT. <https://www.ilo.org/es/temas-y-sectores/seguridad-y-salud-en-el-trabajo>
- Ontario. (2011, junio). *Biomass burn characteristics*. <https://www.ontario.ca/page/biomass-burn-characteristics>
- Parsons, K. (2014). *Human thermal environments: The effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance (3rd ed.)*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b16750>
- Patterson, P., Buysse, D., Weaver, M., Suffoletto, B., McManigle, K., Callaway, C., & Yealy, D. (2014). Emergency healthcare worker sleep, fatigue, and alertness behavior survey (SFAB): development and content validation of a survey tool. *Accident; Analysis and Prevention*, 73, 399–411. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.09.028>
- Presidencia de la República del Ecuador. (2024, 2 de mayo). *Decreto Ejecutivo No. 255: Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo*. Registro Oficial No. 495. <https://n9.cl/8hqvr>
- Prichard, S., Kennedy, M., Wright, C., Cronan, J., y Ottmar, R. (2017). Predicting forest floor and woody fuel consumption from prescribed burns in southern and western pine ecosystems of the United States. *Data in Brief*, 15, 742–746. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2017.10.029>
- Pyne, S. J. (2019). *Fire: A brief history* (2nd ed.). University of Washington Press. <https://doi.org/10.14350/rig.60446>
- Riedy, R., McQuerry, M. y Schofield, S. (2024) “Relación entre la facilidad de uso de la ropa de protección estructural para bomberos y la pérdida de calor”, *Actas de la Conferencia Anual de la Asociación Internacional de Textiles y Confecciones*, 80(1). doi: <https://doi.org/10.31274/itaa.17742>

- Rodríguez, N. y Moretti, A. (1988). Índice de peligro de propagación de Incendios Forestales. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de Argentina. <https://n9.cl/gesaxb>
- Rodríguez-Marroyo, J. A., López-Satue, J., Pernía, R., Carballo, B., García-López, J., Foster, C., & Villa, J. G. (2012). Physiological work demands of Spanish wildland firefighters during wildfire suppression. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 85(2), 221–228. <https://doi.org/10.1007/s00420-011-0661-4>
- Rossi, R. (2003). Fire fighting and its influence on the body. *Ergonomics*, 46(10), 1017-1033. DOI: [0.1080/0014013031000121968](https://doi.org/10.1080/0014013031000121968)
- Ruiz, S. (2024). Síndrome de Degaste Ocupacional en el Personal Operativo del Cuerpo de Bomberos de Ibarra. *Revista Científica Dejando Huellas*, 2(1), 33-38. <https://liceoauanero.edu.ec/revista/index.php/ojs/article/view/>
- Sandsund, M., Bouskill, K. E., Reinertsen, R. E., & Faerevik, H. (2024). Physiological strain in firefighters exposed to extreme heat conditions during smoke diving drills. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 21(3), 365. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11462405/>
- Sawka, M. N., Leon, L. R., Montain, S. J., & Sonna, L. A. (2011). Integrated physiological mechanisms of exercise performance, adaptation, and maladaptation to heat stress. *Comprehensive Physiology*, 1(4), 1883–1928. <https://doi.org/10.1002/cphy.c100082>
- Scott, J. H., & Burgan, R. E. (2005). *Standard fire behavior fuel models: A comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model*. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. <https://doi.org/10.2737/RMRS-GTR-153>
- Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos [SNGR]. (2 de julio de 2021). *Cuerpos de Bomberos participaron en la acreditación de las Brigadas de Refuerzo en Incendio Forestales del Ecuador – BRIF*. <https://n9.cl/9wavf6>
- Selkirk, G., & McLellan, T. (2004). Physical work limits for Toronto firefighters in warm environments. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 1(4), 199–212. <https://doi.org/10.1080/15459620490432114>

- Selkirk, G., McLellan, T., y Wong, J. (2010). Active versus passive cooling during work in warm environments while wearing firefighting protective clothing. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 1(8), 521–531. <https://doi.org/10.1080/15459620490475216>
- Sol, J. A., West, M. R., Domitrovich, J. W., & Ruby, B. C. (2021). Evaluation of environmental conditions on self-selected work and heat stress in wildland firefighting. *Wilderness & Environmental Medicine*, 32(2), 149–159. <https://doi.org/10.1016/j.wem.2021.02.004>
- Takeda, R., Imai, D., Kawai, E., Ota, A., Saho, K., Morita, E., Suzuki, Y., Yokoyama, H., Takahashi, H., Hayashi, H., Kimura, T., & Okazaki, K. (2019). Heat acclimation program for firefighters reduced heat stress and improved thermal sensation and thermal comfort during exercise wearing a firefighting suit. *FASEB Journal: Official Publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology*, 33(S1). https://doi.org/10.1096/fasebj.2019.33.1_supplement.842.2
- Takeyama, H., Itani, T., Tachi, N., Sakamura, O., Murata, K., Inoue, T., Takanishi, T., Suzumura, H., & Niwa, S. (2005). Effects of shift schedules on fatigue and physiological functions among firefighters during night duty. *Ergonomics*, 48(1), 1–11. <https://doi.org/10.1080/00140130412331303920>
- Tanaka, Y. (2024). Wearable core body temperature sensor and its application. En *Wearable Biosensing in Medicine and Healthcare* (pp. 227–247). Springer Nature Singapore. DOI:[10.1007/978-981-99-8122-9_11](https://doi.org/10.1007/978-981-99-8122-9_11)
- Taylor, N. A. S., Tipton, M. J., & Kenny, G. P. (2014). Considerations for the measurement of core, skin and mean body temperatures. *Journal of Thermal Biology*, 46, 72–101. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2014.10.006>
- Tomkinson, G. y Nevill, A. (2021, diciembre 14). *How should adult handgrip strength be normalized for body size?*. ACSM: American College of Sports Medicine. <https://acsm.org/handgrip-strength-normalized-body-size/>
- Trumbo, P., Schlicker, S., Yates, A. A., Poos, M., & Food and Nutrition Board of the Institute of Medicine, The National Academies. (2002). Dietary reference intakes for energy,

- carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein and amino acids. *Journal of the American Dietetic Association*, 102(11), 1621–1630. [https://doi.org/10.1016/s0002-8223\(02\)90346-9](https://doi.org/10.1016/s0002-8223(02)90346-9)
- Universidad Complutense Madrid. (s.f.). *FATIGA LABORAL: Conceptos y Prevención*. Recuperado el 16 de mayo de 2025, de <https://n9.cl/h5msn>
- Vaishya, R., Misra, A., Vaish, A., Ursino, N., & D'Ambrosi, R. (2024). Hand grip strength as a proposed new vital sign of health: a narrative review of evidences. *Journal of Health, Population, and Nutrition*, 43(1), 7. <https://doi.org/10.1186/s41043-024-00500-y>
- Vallfirest. (21 de julio de 2023). Conociendo la caja de herramientas para la extinción de incendios forestales: Innovaciones y desafíos. <https://n9.cl/7vugy>
- Villar, M. (2020). *La carga física del trabajo*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. <https://n9.cl/430m>
- Vincent, G. E., Aisbett, B., Wolkow, A., Jay, S. M., Ridgers, N. D., & Ferguson, S. A. (2018). Sleep in wildland firefighters: what do we know and why does it matter? *International Journal of Wildland Fire*, 27(2), 73. <https://doi.org/10.1071/wf17109>
- Whitney, E. N., & Rolfes, S. R. (2017). *Understanding Nutrition* (15a ed.). CENGAGE Learning Custom Publishing.
- Wohlgemuth, K., Sekiguchi, Y., & Mota, J. (2023). Overexertion and heat stress in the fire service: a new conceptual framework. *American Journal of Industrial Medicine*, 66(8), 705–709. <https://doi.org/10.1002/ajim.23482>
- Xu, H., Zhang, L., Jin, Z., Cao, B., Wang, A., Liu, Z., & Wang, F. (2025). Physiological and perceptual responses of firefighters wearing protective clothing under various training environment and activity conditions. *Building and Environment*, 267(112247), 112247. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.112247>

- Yaglou, C. P., & Minard, D. (1957). Control of heat casualties at military training centers. *A.M.A. Archives of Industrial Health*, 16(4), 302-316.
<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19582900896>
- Yoshitake, H. (1978). Fatiga laboral: Enfoque desde la autoevaluación subjetiva. *En Actas del Simposio Internacional sobre Salud Ocupacional* (págs. 123-130). Asociación Japonesa de Seguridad y Salud Industrial.
<https://doi.org/10.1080/00140137108931236>

Anexos



Mantenimiento, Reparación y Venta.

RUC: 0604240804001

Dirección: Pradera Norte, Rio Balao y Rio Quevedo
Riobamba – Ecuador

CERTIFICADO DE CALIBRACION

Fecha de emisión: 26 de mayo del 2025	Calibración No: CC-22-05-25-005
DATOS DEL CLIENTE	
Razón Social: Galo Ezequiel Tello Ramos	
RUC: 0925989832	
Dirección: Calderón, Quito	
Teléfono: 0983096172	
Correo: galolequil406@hotmail.com	
DATOS COMERCIALES	
Fecha de calibración: 22/05/2025	
Vigencia del certificado: El presente certificado tiene la validez de un año.	
Certificación: Bajo estándar ISO/IEC 17025:2017 y con acreditación SAE	

INFORMACIÓN DEL EQUIPO A CALIBRAR

Medidor de Estrés Térmico (WBGT)

- **Marca:** Extech
- **Modelo:** HT200
- **N.º de serie:** 793950112007
- **Rango de medición:** 0 °C a 50 °C
- **Unidad:** °C WBGT
- **Ubicación de uso:** En campo exterior e interior
- **Peso del equipo:** 453.59 gramos
- **Dimensiones del equipo:** 70.104 mm X 50.038 mm X 299.974 mm
- **Tipo de Fuente de Energía:** Batería
- **Tensión de servicio mínima:** 9 Voltios (cc)



TRIPOD

Mantenimiento, Reparación y Venta.

RUC: 0604240804001

Dirección: Pradera Norte, Rio Balao y Rio Quevedo

Riobamba – Ecuador

PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

- **Equipo:** Medidor de estrés térmico WBGT
- **Norma utilizada:** ISO/EC 17025 para medidor de estrés térmico WBGT
- **Condiciones ambientales:**
 - Temperatura: 17 °C
 - Humedad relativa: 87 %
 - Presión atmosférica: 762.06 mmHg

EQUIPO PATRÓN UTILIZADO:

- **Descripción:** Termohigrómetro de temperatura y humedad relativa patrón de referencia tipo PT100 con datalogger
- **Marca:** Fluke
- **Modelo:** 1523 Reference Thermometer
- **N.º de Serie:** FLK-THR-89012
- **Rango de medición:** -100 °C a 300 °C
- **Resolución:** 0.01 °C
- **Trazabilidad:** Certificado de calibración N.º 2024-TEMP-1345, emitido por el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN), con trazabilidad a estándares del NIST (National Institute of Standards and Technology - EE.UU.)
- **Fecha de calibración:** 15/01/2025
- **Válido hasta:** 15/01/2026

RESULTADOS DE CALIBRACIÓN

Medidor de Estrés Térmico (WBGT)

Punto de Medición (°C)	Lectura Equipo (°C)	Error (°C)	Incertidumbre Expandida (±°C)
20	20.3	+0.3	0.4
30	30.2	+0.2	0.4
40	39.7	-0.3	0.4



TRIPOD

Mantenimiento, Reparación y Venta.

RUC: 0604240804001

Dirección: Pradera Norte, Rio Balao y Rio Quevedo

Riobamba – Ecuador

DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD

El equipo calibrado **CUMPLE** con las especificaciones del fabricante y/o normas técnicas aplicables.

Nota: Garantía de 12 meses en elementos y ejecución de trabajo bajo términos establecidos en el certificado de garantía que se entregara al final de la calibración. A partir de la finalización de la garantía se recomienda el mantenimiento periódico cada 6 meses para su óptimo funcionamiento.

Ing. Alex Álvarez B. RUC :0604240804001 - TRIPOD	
	<small> Firmado electrónicamente por: ALEX MARCELO ÁLVAREZ BASANTES Validez únicamente con firma!! </small>
_____ Firma	



Mantenimiento, Reparación y Venta.

RUC: 0604240804001

Dirección: Pradera Norte, Rio Balao y Rio Quevedo
Riobamba – Ecuador

CERTIFICADO DE CALIBRACION

Fecha de emisión: 26 de mayo del 2025	Calibración No: CC-22-05-25-006
DATOS DEL CLIENTE	
Razón Social: Galo Ezequiel Tello Ramos RUC: 0925989832 Dirección: Calderón, Quito Teléfono: 0983096172 Correo: galolequil406@hotmail.com	
DATOS COMERCIALES	
Fecha de calibración: 22/05/2025 Vigencia del certificado: El presente certificado tiene la validez de un año. Certificación: Bajo estándar ISO 376 para dinamómetro de mano portátil	

INFORMACIÓN DEL EQUIPO A CALIBRAR

Dinamómetro de Mano Portátil

- **Marca:** HANDEXER
- **Modelo:** Manual Portátil de 265 lb. Digital
- **N.º de serie:** B09MTBSTDD
- **Rango de medición:** 0 kg a 120.20 kg
- **Rango de precisión:** 0.045 kg
- **Unidad:** kgf
- **Acrucación:** Incrementos de 0.2 lbs.
- **Ubicación de uso:** En campo exterior e interior
- **Peso del equipo:** 290.01 gramos
- **Dimensiones del equipo:** 193.04 mm X 132.08 mm X 17.78 mm
- **Tipo de Fuente de Energía:** Batería AAA
- **Tensión de servicio mínima:** 3 Voltios (cc)
- **Equipo listado:** FDA



Mantenimiento, Reparación y Venta.

RUC: 0604240804001

Dirección: Pradera Norte, Rio Balao y Rio Quevedo

Riobamba – Ecuador

PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

Equipo: Dinamómetro de mano portátil

Norma utilizada: ISO 376 para dinamómetro de mano portátil

Condiciones ambientales:

- Temperatura: 17 °C
- Humedad relativa: 87 %
- Presión atmosférica: 762.06 mmHg

EQUIPO PATRÓN UTILIZADO:

- **Descripción:** Juego de pesas patrón de clase M1
- **Marca:** Troemner
- **Modelo:** Set 500g – 50kg
- **N.º de Serie:** TRM-PS-45236
- **Rango de medición:** 0.5 kgf a 50 kgf
- **Precisión:** Clase M1 (según OIML R111)
- **Trazabilidad:** Certificado de calibración N.º 2024-MAS-0821, emitido por el Laboratorio Nacional de Metrología del INEN acreditado por ISO/IEC 17025, con trazabilidad del NIST (National Institute of Standards and Technology - EE.UU.)
- **Fecha de calibración:** 05/01/2025
- **Válido hasta:** 05/01/2026

RESULTADOS DE CALIBRACIÓN

Dinamómetro de Mano Portátil

Carga Aplicada (kgf)	Lectura Equipo (kgf)	Error (kgf)	Incertidumbre Expandida (\pm kgf)
10	10.1	+0.1	0.2
30	29.8	-0.2	0.2
50	49.6	-0.4	0.2



TRIPOD

Mantenimiento, Reparación y Venta.

RUC: 0604240804001

Dirección: Pradera Norte, Rio Balao y Rio Quevedo

Riobamba – Ecuador

DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD

El equipo **CUMPLE** con las especificaciones del fabricante y/o normas técnicas aplicables.

Nota: Garantía de 12 meses en elementos y ejecución de trabajo bajo términos establecidos en el certificado de garantía que se entregara al final de la calibración. A partir de la finalización de la garantía se recomienda el mantenimiento periódico cada 6 meses para su óptimo funcionamiento.

Ing. Alex Álvarez B. RUC :0604240804001 - TRIPOD
 <p>Firmado electrónicamente por: ALEX MARCELO ALVAREZ BASANTES <small>Valido únicamente con FirmAD</small></p>
Firma



Mantenimiento, Reparación y Venta.

RUC: 0604240804001

Dirección: Pradera Norte, Rio Balao y Rio Quevedo
Riobamba – Ecuador

GARANTIA TÉCNICA DE CALIBRACION

Riobamba, 26 de mayo de 2025

Sobre el mantenimiento y/o calibración de Equipos.

El presente certificado cubre solo los posibles defectos en la ejecución del trabajo de mantenimiento y/o calibración, no cubre la totalidad del equipo.

CONDICIONES PARA LA NO EJECUCIÓN DE LA GARANTÍA:

1. El período de garantía haya finalizado.
2. No seguir las recomendaciones estipuladas en el informe técnico.
3. Daños de los equipos ocasionados por mal uso u operación por parte del personal de la institución a la que se le proporcione la garantía. Así como la utilización del equipo por encima de los límites de capacidad para la cual fue diseñado, según las especificaciones del fabricante que obran en el manual de operación del equipo.
4. Daños ocasionados por fuerza mayor o daño fortuito que recaigan sobre el equipo entre las que se encuentran, pero no se limitan a: maltrato del equipo, abuso o accidente, terrorismo, incendios, inundación, catástrofe naturales, fluctuaciones o excesos de voltajes, cortos circuitos, rayos, descargas eléctricas, fallas por acometidas de energía, uso de abrasivos, exposición permanentes de las superficies a altas temperaturas y cualquier causa similar a las anteriores.
5. Intervención técnica en el equipo por parte de personal ajeno a TRIPOD.
6. Cualquier daño causado como consecuencia de hechos de terceros.

TIEMPOS DE COBERTURA DE LA GARANTÍA:

La vigencia de la garantía será de un año a partir de la fecha de finalización del mantenimiento y/o calibración.


<p>Ing. Alex Álvarez B. RUC :0604240804001 - TRIPOD</p>
 <p>Firmado digitalmente por: ALEX MARCELO ÁLVAREZ BRASANTES Validez documental con firmaDC</p>
<p>_____</p> <p>Firma</p>

RV: SOLICITUD DE PERMISO PARA REALIZAR MEDICIONES PARA TESIS MAESTRÍA GALO TELLO - Google Chrome

mail.bomberosquito.gob.ec/owa/projection.aspx


Responder a todos | Eliminar Correo no deseado |

RV: SOLICITUD DE PERMISO PARA REALIZAR MEDICIONES PARA TESIS MAESTRÍA GALO TELLO

 **Esteban Ernesto Cárdenas Varela**
Hoy, 16:49
Gloria Elena Burbano Araujo; Galo Ezequiel Tello Ramos; Adriana del Pilar Tello Dueñas


Responder a todos |

Bandeja de entrada

 69_OFICIO TESIS-HIGIE...
363 KB

Mostrar todos 1 archivos adjuntos (363 KB) descargar

Autorizado, brindar las facilidades necesarias.



Tcrl. Esteban Cárdenas Varela
Jefe del Cuerpo de Bomberos de Quito
Veintimilla E5-66 y Reina Victoria | (593-2) 3953-700 Ext. 7000

De: Comandancia <comandancia@bomberosquito.gob.ec>
Enviado el: martes, 27 de mayo de 2025 9:28
Para: Esteban Ernesto Cárdenas Varela <ecardenas@bomberosquito.gob.ec>
CC: Gabriela Astrid Terán Camacho <gteran@bomberosquito.gob.ec>