

Efectos de la implementación de un plan de entrenamiento para el desarrollo de la resistencia cardiorrespiratoria y muscular en voluntarios de la Segunda y Tercera Compañía del Cuerpo de Bomberos de Villa Alegre

Effects of the implementation of a training plan for the development of cardiorespiratory and muscular resistance in volunteers from the Second and Third Company Villa Alegre Fire Department

Helbert Vásquez Silva¹ 

¹Universidad Autónoma de Chile; helbert02cia@gmail.com

RESUMEN

La labor bomberil exige elevados niveles de condición física, particularmente de resistencia cardiorrespiratoria y muscular, debido a la naturaleza intensa, intermitente y demandante de las emergencias. El objetivo de este estudio fue determinar el impacto de la implementación de un programa de entrenamiento sobre la resistencia cardiorrespiratoria y muscular en voluntarios de la Segunda y Tercera Compañía del Cuerpo de Bomberos de Villa Alegre. Se desarrolló un estudio de tipo preexperimental, longitudinal, con diseño pre-post intervención, en una muestra de 12 bomberos voluntarios. La intervención consistió en un programa de entrenamiento en circuito de alta intensidad (HICT) aplicado durante un período de 6



semanas, evaluándose variables de resistencia cardiorrespiratoria y muscular mediante pruebas funcionales estandarizadas antes y después del programa. El análisis estadístico se realizó mediante pruebas no paramétricas para muestras relacionadas, complementando la significancia estadística con el cálculo del tamaño del efecto. Los resultados evidenciaron mejoras significativas en la mayoría de las variables evaluadas ($p<0,05$), observándose incrementos relevantes en el rendimiento físico general. Si bien el Sit-up Test no alcanzó significancia estadística, presentó una tendencia positiva en la mediana y un tamaño del efecto grande, lo que sugiere adaptaciones funcionales clínicamente relevantes. En conclusión, el presente estudio indica que la implementación del programa de entrenamiento produjo mejoras significativas en la resistencia cardiorrespiratoria y muscular de los bomberos participantes, evidenciadas por incrementos consistentes en las pruebas funcionales aplicadas. Las mejoras observadas en los test aeróbicos sugieren un aumento en la eficiencia del sistema cardiorrespiratorio, mientras que los cambios en los test de fuerza-resistencia reflejan adaptaciones musculares relevantes.

Palabras Claves: Bomberos; Entrenamiento en Circuito de Alta Intensidad; Resistencia Cardiorrespiratoria y Muscular; Ejercicio.

ABSTRACT

Firefighting demands high levels of physical fitness, particularly cardiorespiratory and muscular endurance, due to the intense, intermittent, and demanding nature of emergencies. The objective of this study was to determine the impact of implementing a training program on cardiorespiratory and muscular endurance in volunteers from the Second and Third Companies of the Villa Alegre Fire Department. A pre-experimental, longitudinal, pre-post intervention study was conducted with a sample of 12 volunteer firefighters. The intervention consisted of a high-intensity circuit training (HICT) program applied over a period of 6 weeks. Cardiorespiratory and muscular endurance variables were evaluated using standardized functional tests before and after the program. Statistical analysis was performed using non-parametric tests for related samples, supplementing statistical significance with effect size calculations. The results showed significant improvements in most of the variables evaluated ($p<0.05$), with relevant increases observed in overall physical performance. Although the Sit-up Test did not reach statistical significance, it showed a positive trend in the median and a large effect size, suggesting clinically relevant functional adaptations. In conclusion, this study indicates that the implementation of the training program produced significant improvements in the cardiorespiratory and muscular endurance of the participating firefighters, evidenced by consistent increases in the applied functional tests. The improvements observed in the aerobic tests suggest an increase in the efficiency of the cardiorespiratory system, while the changes in the strength-endurance tests reflect relevant muscular adaptations.

Keywords: Firefighters; High-Intensity Circuit Training; Cardiorespiratory and Muscular Endurance; Exercise.

Introducción

Bomberos es una institución de servicio público, sin fines de lucro, que se encuentra integrado por personas de la comunidad, los cuales prestan un servicio invaluable de forma voluntaria y desinteresada a la sociedad chilena(1,2). Sus integrantes son profesionales altamente capacitados y preparados para actuar en situaciones de peligro inminente ante el requerimiento de cualquier ser humano(3), como lo son los incendios estructurales, forestales, desastres naturales, rescates vehiculares y un sinnúmero de emergencias a las cuales deben hacer frente(4). Dado el desarrollo tecnológico que ha experimentado la sociedad actual, la labor de los bomberos se ha ido especializando y diversificando, al punto que a través de la Academia Nacional de Bomberos (ANB) se han realizado capacitaciones, perfeccionamiento y entrenamientos a fin de responder de forma efectiva y eficaz a las demandas de la comunidad. Dada esta realidad, la labor bomberil es una de las más exigentes a nivel mundial. El trabajo operativo de los bomberos exige altos niveles de esfuerzo cardiorrespiratorio y muscular(5). Esta demanda intensa no se limita al combate directo, sino que se extiende por periodos prolongados, comenzando su fase apenas se recibe el despacho de la central de alarmas y se activa la respuesta de los voluntarios. Por otra parte, estas demandas físicas exigen esfuerzos por sobre el 100% de la capacidad del bombero, extendiéndose a medida que se va desarrollando la emergencia(6). Estos datos están en consonancia con lo reportado por otros autores(7), quienes señalan que durante las tareas de bomberos se involucran grandes demandas físicas, alcanzando frecuencias cardíacas máximas del 84-100%, valores equivalentes a trabajar a un 97% del $VO_{2máx}$ (8). Vandersmissen et al., señala que tareas de extinción de incendios en buques requiere de peak hasta de 43 ml de oxígeno/kg/min, lo que equivale al 82% del $VO_{2máx}$. Estos datos son reforzados por estudios de Sheaff (6) en que se concluye que los bomberos al subir las escalas con uniforme estructural alcanzan frecuencias cardíacas máximas y $VO_{2máx}$ cercanos al 80%(6). El equipo de protección personal (EPP), aunque esencial para estas labores, tiende a aumentar la exposición al calor y producir una merma en el rendimiento físico repercutiendo negativamente al apresurar la instalación de la fatiga(3, 9). La resistencia muscular es también un factor importante de la condición física relacionada con el rendimiento de los bomberos (10) Los bomberos deben mantener altos niveles de resistencia muscular para poder levantar, transportar o manipular equipo pesado y maniobrar con víctimas. Además, muchas tareas (entradas forzadas, tareas de corte, jalar mangueras, levantar y cargar o arrastrar víctimas) requieren altos niveles de resistencia muscular y se han correlacionado significativamente con tiempos más rápidos en tareas de extinción de incendios cronometradas. (11,12). A pesar de la alta exigencia que implica la

labor bomberil, en países desarrollados como lo es Estados Unidos no se cumple con los niveles de aptitud física requeridos. A medida que los individuos se adaptan a la vida de cuartel, surgen comportamientos poco saludables, con una disminución de la actividad física, malos hábitos de sueño así como una dieta poco saludable (13), dejando a los bomberos físicamente desprevenidos para el servicio(10). Esta información es reforzada por el estudio de Andrews (11) señalando que una alta proporción de estaciones de bomberos estadounidenses no siguen las recomendaciones para el mantenimiento de la salud y la condición física de los bomberos establecidas por la Agencia Nacional de Protección contra Incendios (NFPA) (11). En relación con la realidad local, el Cuerpo de Bomberos de Villa Alegre cuenta con tres compañías asentadas en los sectores con mayor población de esta comuna, dando respuesta a los requerimientos de alrededor de 18 mil habitantes(14). En el caso particular de la Segunda y Tercera Compañía, entregan un servicio general de atención de emergencias, respondiendo a una amplia gama de siniestros generados tanto por la acción del hombre como por su omisión, entre estas encontramos los rescates vehiculares, agrestes, en espacios confinados, incendios estructurales, forestales, pastizales y un sinnúmero de emergencias más.

En Chile como en gran parte del mundo, su población escasamente realiza actividad física, siendo un porcentaje no menor sedentaria, dedicando gran parte del tiempo a actividades que requiere poco esfuerzo y el tiempo libre disponible lo ocupan para acciones como ver tv, series, videojuegos en línea, etc. o sea, que implica poco gasto energético y esfuerzo físico(15). El sedentarismo es un factor de riesgo que está en más de la mitad de la población en Chile(16) el cual disminuye la capacidad de adaptación a cualquier actividad física, iniciando un círculo vicioso de desadaptación. La Encuesta Nacional de Salud de Chile 2016-2017 (ENS) reportó un 86,7% de sedentarismo en la población. Bomberos no está exento de esta realidad, según el estudio de Eichele et al. los voluntarios no practican actividad física de manera obligatoria en sus compañías. A pesar de esta situación, debe hacer frente a las disímiles emergencias a las que tienen que responder, debiendo usar un abultado equipo de protección personal (EPP) en conjunto con el equipo ERA(7) que implica una sobrecarga de 20 kilos extras(17), además de levantar y mover elementos de gran peso como son escalas, mangueras, herramientas de extricación, entre otros(3,18). Por cuanto, requieren de una condición física adecuada que les permitan sostener tareas de largo aliento tanto en lo concerniente a la resistencia cardiorrespiratoria como de la resistencia muscular. A nivel nacional, no existen programas de actividad física, ya sean institucionales o gubernamentales, que estén dirigidos específicamente a la población bomberil(3,19). Asimismo, la institución carece de un requisito de umbral mínimo tanto para la resistencia muscular como para la resistencia cardiorrespiratoria ($\text{VO}_2\text{máx}$), a diferencia de otros países como el Reino Unido (42.3 ml/kg/min)(5) o Bélgica (45 ml/

kg/min)(20). Esta carencia constituye una problemática relevante, considerando que los bomberos se ven sometidos a condiciones de extremo esfuerzo y rendimiento físico durante el desarrollo de las emergencias(17). La ausencia de iniciativas sistemáticas de entrenamiento limita el desarrollo y mantenimiento de las capacidades físicas necesarias para un desempeño seguro y eficiente, pudiendo incrementar el riesgo de fatiga, lesiones y disminución del rendimiento operativo. En este contexto, se hace necesario implementar y evaluar programas de ejercicio físico orientados a esta población, con el propósito de analizar su impacto en la mejora del rendimiento físico y en la preparación integral frente a las demandas propias del servicio bomberil.

Metodología

El presente proyecto de intervención corresponde a un estudio pre-experimental, longitudinal y comparativo, orientado a evaluar los efectos de un programa de entrenamiento físico estructurado sobre la resistencia cardiorrespiratoria y la resistencia muscular en bomberos voluntarios de la Segunda y Tercera Compañía del Cuerpo de Bomberos de Villa Alegre. Este estudio se desarrolló en conformidad con los principios éticos que rigen la investigación médica en seres humanos, establecidos en la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial(21). Para la implementación del proyecto de intervención se consideró una muestra por conveniencia conformada por 12 bomberos voluntarios, compuesta por 7 hombres y 5 mujeres. La participación fue de carácter voluntario, previa firma de un consentimiento informado, mediante el cual se garantizó la voluntariedad de la participación y el derecho a retirarse del estudio en cualquier momento sin perjuicio alguno. La selección de los participantes se realizó en función de criterios de inclusión y exclusión, orientados a asegurar la pertinencia y seguridad del programa de intervención, los cuales se detallan en la Tabla 1. Los bomberos que aceptaron participar fueron citados en el cuartel de bomberos, donde se llevaron a cabo las evaluaciones basales, aplicándose los instrumentos de valoración correspondientes a la resistencia muscular y la capacidad cardiorrespiratoria (tabla 1).

Tabla 1. Criterios de inclusión y exclusión para la selección de la muestra.

Criterios de Inclusión	Criterios de Exclusión
Ser mayor de 18 años.	Presentar alguna lesión aguda que impida realizar tanto las evaluaciones como efectuar el programa de intervención.
Pertenecer a la Segunda y/o Tercera Compañía.	Presenta antecedentes de enfermedades cardiovasculares no compatibles con la realización de las evaluaciones e implementación del programa de entrenamiento.
Haber firmado el consentimiento informado.	
Contar con disponibilidad horaria para asistir a las sesiones de entrenamiento planificadas.	

Pruebas de resistencia cardiopulmonar

Para la valoración de esta variable, entendida como la mayor cantidad de oxígeno que se puede entregar y extraer del aire inspirado mientras se realiza ejercicio dinámico que involucra un gran porcentaje de la masa muscular corporal total.(22) se utilizaron dos instrumentos, los cuales se pasan a explicar a continuación. Por un lado tenemos la prueba de carrera de ida y vuelta de 20 m (20MSR), también llamada «Course Navette», es probablemente la prueba de campo más utilizada para estimar la resistencia cardiorrespiratoria(23,24). La velocidad inicial es de 8,5 km/h y aumenta a 0,5 km/h por minuto(23). El individuo debe correr entre dos líneas separadas por 20 m, al ritmo de las señales de audio emitidas desde un parlante. La prueba finaliza cuando el sujeto se detiene porque alcanzó la fatiga o cuando por 2 veces consecutivas no llega a pisar detrás de la línea al sonido del «beep»(24). Se ocupó el Step Test del Escalón de Astrand-Rhyming, es una prueba de esfuerzo submáximo utilizada para predecir el consumo máximo de oxígeno. Para su ejecución se debe ocupar un escalón, que en el caso de los hombres es de 40 cm y para las mujeres es de 33cm. (25,26). A la persona se le explica que debe subir y bajar el escalón durante 5 minutos a un ritmo de 22,5 veces por minuto, el cual es proporcionado por un metrónomo. Una vez finalizada la prueba, se mide la frecuencia cardíaca a través del Polar H10 (Polar Electro Oy, Kempele, Finland)(27).

Pruebas de resistencia muscular

Para evaluar la resistencia muscular se consideraron pruebas dirigidas a la musculatura de las extremidades superiores, del tronco y del tren inferior. La resistencia muscular de las extremidades superiores se evaluó mediante el Push-up Test, una prueba de campo en la que el sujeto adopta la posición de decúbito prono, con apoyo en manos y pies, manteniendo el cuerpo alineado desde la cabeza hasta los tobillos(28). El objetivo es ejecutar el máximo

número de repeticiones posibles en 60 segundos (29). Para valorar la resistencia muscular del tronco se utilizó el Sit-up Test, que consiste en realizar el mayor número de repeticiones correctas en 60 segundos(29). El participante debe flexionar el tronco hasta alcanzar la posición vertical o tocar las rodillas con los codos, y posteriormente descender hasta que la parte inferior de las escápulas contacte la colchoneta, repitiéndose el movimiento hasta completar el tiempo establecido (30). Finalmente, la resistencia muscular del tren inferior se evaluó mediante el 1-Minute Squat Test, ampliamente aplicado en poblaciones activas, el cual determina la cantidad de sentadillas completas que la persona puede realizar en 60 segundos(29,31).

Procedimientos

La variable independiente correspondió a la implementación de un programa de entrenamiento en circuito de alta intensidad (High Intensity Circuit Training, HICT), adaptado a las características, funciones operativas y necesidades físicas de los participantes. Dicho programa se desarrolló en las dependencias del cuartel de bomberos, utilizando espacios habilitados para la práctica de actividad física y entrenamiento funcional, asegurando condiciones de seguridad, accesibilidad y disponibilidad del equipamiento requerido. Las sesiones fueron supervisadas por profesionales capacitados, garantizando la correcta ejecución de los ejercicios y el control de la intensidad del esfuerzo. El programa se llevó a cabo dos veces por semana durante un período de seis semanas. Para ser incluidos en los análisis finales, los participantes debieron completar al menos el 70% de las sesiones de entrenamiento programadas. Cada sesión tuvo una duración aproximada de 45 minutos e incluyó acciones musculares y movimientos específicos, funcionales y multiarticulares, acordes a las demandas físicas propias de la labor bomberil. Se instruyó a los bomberos para realizar los ejercicios a una intensidad elevada, correspondiente a una percepción subjetiva del esfuerzo (RPE >7 en la escala de Borg), ejecutando tantas repeticiones como fuese posible durante los intervalos establecidos. La relación trabajo:descanso fue progresiva a lo largo del período de intervención, comenzando con una proporción 1:2 durante la primera semana, modificándose a 1:1 a partir de la segunda semana, y aumentando a una proporción más exigente de 2:1 desde la cuarta semana en adelante (32). Cada sesión se estructuró en cuatro fases: (i) un calentamiento general que incluyó ejercicios de movilidad articular (5–10 minutos); (ii) un calentamiento específico, orientado a la activación muscular y cardiopulmonar (10 minutos); (iii) una fase central de 30–40 minutos de HICT, en la cual se promovió la ejecución de los ejercicios a alta intensidad (>80% de la frecuencia cardíaca máxima), alternando grupos musculares para minimizar la fatiga localizada; y (iv) una fase de enfriamiento, consistente en aproximadamente 5 minutos de estiramientos activos,

liberación miofascial con rodillo de espuma y ejercicios respiratorios orientados a la vuelta a la calma(32).

Diseño Estadístico

Los resultados obtenidos fueron registrados en un excel, los que se traspasaron posteriormente al programa IBM SPSS Statistics 27 para el análisis estadístico correspondiente. Dada la naturaleza del estudio y el tamaño reducido de la muestra ($n=12$), se asumió la no-normalidad de la distribución de los datos, adoptando así un enfoque no paramétrico. Para el análisis descriptivo se utilizaron medidas adecuadas a este tipo de distribución, empleando la mediana y la moda como medidas de tendencia central, y el rango intercuartil (o rango) como medida de dispersión. Para el análisis comparativo e inferencial de las variables evaluadas se empleó la Prueba de Wilcoxon. Se estableció un nivel de significancia de $p<0.05$.

Resultados

Tras finalizar el periodo del programa de intervención establecido, se analizaron los datos de los 12 bomberos, los cuales se encuentran descritos en la tabla 2. Del total de participantes un 58,3% eran hombres y un 41,7% eran mujeres. La edad de los participantes presentó una mediana de 37 años, con una moda de 28 años, el rango observado fluctuó entre un mínimo de 22 años y un máximo de 61 años, evidenciando una muestra heterogénea en términos etarios (tabla 2).

Tabla 2. Características generales y antropométricas de los bomberos.

Variables	N	MEDIANA	MODA	MÍN-MÁX.
Edad (años)	12	37,0	28	22-61
Peso (kg)	12	78,0	75	60-109
Talla (cm)	12	168,5	162	152-175
IMC (kg/m^2)	12	28,6	26	19,9-38,6
Perímetro cintura (cm)	12	90,0	75	75-118

Nota. MIN = mínimo, MAX = máximo

En relación con la tabla 3, se presentan los resultados descriptivos de las pruebas físicas aplicadas antes y después del programa de entrenamiento, en que las variables se describen utilizando mediana y rango intercuartílico (RIC; p_{25} – p_{75}). Para el consumo máximo de oxígeno estimado mediante el Test de Åstrand, se observó que en la evaluación preentrenamiento los voluntarios presentaron una mediana de 36,0 ml/kg/min (RIC =

28,95 – 46,25), mientras que posterior a la intervención el valor de la mediana aumentó a 43,05 ml/kg/min (RIC = 34,83 – 48,10), evidenciando una mejora general en la resistencia cardiorrespiratoria. Respecto al Test Navette, el rendimiento de la mediana inicial fue de 31,10 ml/kg/min, aumentando a 32,60 ml/kg/min en la evaluación postentrenamiento. La mediana y los percentiles aumentan de manera consistente, sugiriendo una mejora en la resistencia aeróbica y la tolerancia al ejercicio. En cuanto a la resistencia muscular de extremidades superiores, se aprecia un incremento tras la aplicación del plan de entrenamiento. En cuanto al 1-Minute Squat, mostró un aumento relevante pasando de 32 a 45 repeticiones según la mediana. Por último, mediante el Sit-up Test también se obtuvieron incrementos en las evaluaciones pre y post test. En conjunto, los parámetros muestran tendencias positivas posteriores al programa de entrenamiento, reflejando mejoras consistentes en la resistencia cardiorrespiratoria y muscular de los voluntarios (tabla 3).

Tabla 3. Estadística descriptiva de los pre-post test del estudio.

TEST	MEDIANA	MODA	MÍN-MÁX.
Åstrand (pre)	36,05	26,3	26,3-49,1
Åstrand (post)	43,05	29,1	29,1-68,8
Navette (pre)	31,10	35,6	20,6-41,6
Navette (post)	32,60	26,6	26,6-44,6
Push-up (pre)	20,50	20	10-52
Push-up (post)	24,50	25	7-50
1-Minute Squat(pre)	32	36	15-40
1-Minute Squat(post)	45	45	18-54
Sit-up Test (pre)	22	20	4-39
Sit-up Test (post)	25,50	35	7-44

Nota. MIN = mínimo, MAX = máximo

En base a los resultados mostrados en la tabla 4, se puede apreciar diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en cuatro de las cinco pruebas evaluadas, evidenciando mejoras posteriores a la intervención. Destaca que, independientemente de la significancia estadística, todas las pruebas registraron un tamaño del efecto grande ($r > 0,50$), lo que valida la magnitud y relevancia práctica de las mejoras (tabla 4).

- Resistencia Cardiorrespiratoria: Se obtuvieron mejoras significativas en el Test de Åstrand ($p = 0,005$; $r = 0,809$) y el Test Navette ($p = 0,020$; $r = 0,673$), con efectos clasificados como robustos y grandes respectivamente.
- Resistencia Muscular: El 1-Minute Squat Test mostró el impacto más alto del estudio ($p = 0,003$; $r = 0,862$), seguido por el Push-up Test ($p = 0,031$; $r = 0,624$), ambos con cambios significativos y magnitudes de efecto grandes.

- Resistencia del Core: El Sit-up Test no alcanzó significancia estadística ($p=0,077$), sin embargo, presentó una tendencia de mejora con un tamaño del efecto grande ($r=0,510$), indicando un impacto clínico relevante en la musculatura abdominal.

Tabla 4. Estadística no paramétrica de Wilcoxon.

Variable	p
Test de Åstrand	0,005
Test Navette	0,020
Push-up Test	0,031
1-Minute Squat Test	0,003
Sit-up Test	0,077

Nota. $p < 0.05$

Discusión

El presente estudio tuvo como propósito evaluar el efecto de un programa de entrenamiento físico de 6 semanas de duración sobre la resistencia cardiorrespiratoria y la resistencia muscular de los voluntarios pertenecientes a la Segunda y Tercera Compañía del Cuerpo de Bomberos de Villa Alegre, utilizando diversas pruebas funcionales comparadas antes y después de la intervención. Al igual que en estudios previos, gran parte de los ejercicios aplicados en el plan de intervención se enfocaron en utilizar como resistencia el mismo peso corporal de los bomberos, así como a aprovechar el material bomberil para la ejecución de los circuitos de entrenamiento. Los hallazgos muestran mejoras consistentes en todos los parámetros evaluados, lo cual sugiere que la intervención aplicada fue efectiva en estimular adaptaciones fisiológicas relevantes. En primer lugar, los resultados del Test de Åstrand evidenciaron un aumento significativo en la mediana del $VO_2\text{máx}$ estimado, pasando de 36,05 (RIC: 28,95–46,25) a 43,05 $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (RIC: 34,83–48,10). Este incremento refleja una mejora sustancial en la capacidad aeróbica, coherente con lo descrito por la literatura(32–34)(35), donde los programas de entrenamiento interválico o de resistencia moderada a vigorosa han demostrado mejorar la eficiencia cardiorrespiratoria en un rango similar, especialmente en adultos jóvenes y sujetos físicamente activos. El desplazamiento uniforme del rango intercuartílico hacia valores más altos sugiere que la intervención benefició de manera homogénea al grupo, con escasa variabilidad en la respuesta individual. En el estudio realizado por Sokoloski(33) se evidenció un incremento del 7,6 % del $VO_2\text{máx}$ tras un periodo de intervención de seis meses. En la misma línea, Gutiérrez-Arroyo(32) desarrollaron una intervención enfocada específicamente en la implementación

de entrenamiento en circuito de alta intensidad (HICT), diseñado para simular las demandas propias de las tareas operacionales. Los hallazgos de dicho estudio demostraron mejoras en el $\text{VO}_2\text{máx}$ estimado, evidenciando que el aumento en la eficiencia cardiorrespiratoria inducido por el HICT resulta crucial, ya que permite a los bomberos ejecutar tareas de alta intensidad utilizando una menor proporción de su capacidad máxima, lo que se traduce en un mayor tiempo de trabajo efectivo previo a la aparición de la fatiga. De manera complementaria, el Test Navette mostró un aumento en la mediana del estadio alcanzado, pasando de $31,10 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (RIC: 24,35–35,60) a $32,60 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (RIC: 26,60–38,60). Si bien la magnitud del cambio fue menor en comparación con el Test Åstrand, la mejora sigue siendo clínicamente relevante, dado que esta prueba demanda tanto capacidad aeróbica como tolerancia al incremento progresivo de la intensidad. La literatura reporta que incluso cambios modestos en el desempeño del Navette reflejan adaptaciones fisiológicas significativas(36), lo que coincide con lo observado en este estudio. Los resultados obtenidos tras la intervención efectuada en los bomberos, son coincidentes con los encontrados por otros autores con respecto al componente de resistencia muscular (32,37). Nuestros resultados mostraron mejoras importantes tras la intervención. En el test de push-ups, la mediana aumentó de 20,50 (RIC: 13,75–25,50) a 24,50 repeticiones (RIC: 19,25–32,25), lo que indica un incremento significativo en la fuerza-resistencia de extremidades superiores. Esto es congruente con estudios previos que demuestran que programas combinados de trabajo aeróbico y funcional generan incrementos en la capacidad muscular a través de mecanismos como la mejora de la eficiencia neuromuscular, el aumento en la capacidad oxidativa del músculo, además de una hipertrofia muscular y cambios metabólicos dado el incremento de factor de crecimiento similar a la insulina 1 (IGF-1)(37). En el caso de Heinrich (38) realizaron un programa de entrenamiento en circuito, de 8 semanas de duración, en que utilizaba resistencia en los ejercicios (p. ej., peso corporal propio, balones medicinales). Estos investigadores reportaron una mejora de aproximadamente el 10% en la prueba de push-up después del programa de entrenamiento, lo que se asemeja al 16% alcanzado en nuestro estudio. En cuanto al tren inferior, la implementación de un programa HICT similar, desarrollado por (37) en mujeres sedentarias, reportó mejoras significativas en la extensión de rodilla. Este hallazgo es coincidente con los resultados de nuestro estudio, donde se observó un incremento sustancial en la cantidad de repeticiones medidas mediante el 1-Minute Squat Test. La magnitud de esta ganancia se respalda por un tamaño del efecto (R de Wilcoxon) de 0.862, clasificado como grande. Este progreso significativo se atribuye probablemente a la inclusión de varios ejercicios en el circuito que implican el accionar intenso de la musculatura de extremidades inferiores, tales como burpees, ejercicios de step con resistencia, jumping jacks, lunge jumps, entre otros. En el análisis inferencial del Sit-up Test, fue la única variable que no evidenció un cambio estadísticamente significativo tras la implementación del programa HICT ($p = 0,077$). Sin

embargo, mostró una tendencia al incremento en la mediana, la cual pasó de 22,00 a 25,50 repeticiones en un minuto. La ausencia de significancia estadística podría estar influida por la variabilidad interindividual en la respuesta al entrenamiento, ya que no todos los participantes lograron incrementar el número de repeticiones realizadas en el período postintervención, lo que pudo atenuar el efecto global observado. Asimismo, el carácter analítico del Sit-up Test, centrado en la ejecución dinámica repetitiva del tronco, podría no reflejar completamente las adaptaciones funcionales inducidas por el entrenamiento en circuito de alta intensidad, donde la musculatura abdominal cumple predominantemente un rol estabilizador. En concordancia con lo anteriormente expuesto, es posible que el diseño del programa de entrenamiento en circuito de alta intensidad (HICT) no haya priorizado un volumen específico de trabajo orientado a la musculatura del tronco, a pesar de que este componente resulta particularmente demandante durante las tareas operacionales propias del bombero(39). Este tipo de entrenamiento se caracteriza por privilegiar patrones de movimiento globales y multiarticulares, en los cuales la musculatura abdominal cumple predominantemente un rol estabilizador, lo que podría no traducirse de manera directa en mejoras estadísticamente significativas en pruebas analíticas específicas, como el Sit-up Test. En este contexto, Maxwell (39) desarrollaron un programa de intervención que otorgó mayor énfasis al fortalecimiento de la musculatura del tronco, que, tras cuatro semanas de entrenamiento, se obtuvieron mejoras favorables asociadas a una mayor eficiencia de la musculatura estabilizadora de caderas, core y tronco. Estos hallazgos refuerzan la relevancia de considerar la especificidad del estímulo al momento de seleccionar las estrategias de entrenamiento. En la misma línea, (4) destacan la necesidad de avanzar hacia evaluaciones más integradas de la función de la musculatura central, que contemplen su rol dinámico y estabilizador dentro de tareas funcionales complejas, más allá de pruebas analíticas aisladas. No obstante, la dirección positiva del cambio observada en el presente estudio sugiere la presencia de adaptaciones funcionales relevantes, en la misma línea con lo reportado en la literatura sobre entrenamiento de alta intensidad(40).

Conclusión

Los resultados obtenidos del presente estudio evidencian que el programa de entrenamiento implementado generó mejoras significativas en la resistencia cardiorrespiratoria y la resistencia muscular de los participantes, demostradas por incrementos en la mediana y el rango intercuartílico en todos los test aplicados. Las mejoras observadas en el Test Åstrand y Test Navette sugieren un incremento en la eficiencia cardiorrespiratoria, mientras que los aumentos en los test de push-up y sentadillas reflejan adaptaciones musculares relevantes.

En conjunto, estos hallazgos confirman que una intervención estructurada, basada en estímulos aeróbicos y de fuerza-resistencia, es eficaz para optimizar parámetros físicos esenciales para el desempeño operativo. El fortalecimiento de la resistencia muscular y el aumento del $\text{VO}_2\text{máx}$ proporcionan al bombero una base fisiológica más sólida para enfrentar las demandas dinámicas de las tareas funcionales complejas en el campo de acción. En consecuencia, los resultados respaldan el valor de implementar programas sistemáticos de acondicionamiento físico en poblaciones con altas demandas fisiológicas, especialmente en los bomberos voluntarios, donde la capacidad de soportar cargas de rendimiento físico elevadas es determinante para la seguridad y eficiencia laboral. Se recomienda que futuros estudios amplíen el tamaño muestral e incorporen un grupo control, idealmente con asignación aleatoria, a fin de fortalecer la validez interna y la generalización de los resultados. Asimismo, sería pertinente extender la duración de las intervenciones para evaluar la sostenibilidad de las adaptaciones fisiológicas observadas. Se sugiere además incluir variables de rendimiento anaeróbico y evaluaciones funcionales más específicas del core, considerando las demandas operativas propias de la labor bomberil. Finalmente, resulta relevante analizar la respuesta fisiológica y el desempeño físico bajo condiciones operativas simuladas, incluyendo el uso de equipo de protección personal, con el objetivo de vincular las mejoras físicas con el rendimiento y la seguridad en el contexto real de trabajo.

Agradecimiento

En primer lugar, deseo expresar mi sincero agradecimiento a la directora de la Segunda Compañía y al director de la Tercera Compañía de Bomberos, quienes, por medio de su valiosa disposición y apoyo, facilitaron las gestiones necesarias para que los voluntarios de ambas compañías pudieran participar en la presente intervención. Su colaboración fue fundamental para la correcta ejecución de este estudio. Asimismo, agradezco profundamente a todos los voluntarios que, de manera desinteresada, dedicaron parte de su tiempo, esfuerzo y constancia para formar parte de esta investigación, demostrando un alto compromiso y vocación de servicio, lo que permitió llevar a cabo el desarrollo del estudio de forma satisfactoria. De igual manera, deseo agradecer a mi prima Anaís, quien, gracias a sus gestiones y apoyo logístico, contribuyó significativamente en la coordinación con los voluntarios, posibilitando la correcta ejecución del plan de intervención. Finalmente, expresar un agradecimiento especial y profundo a mi esposa, Solange, quien estuvo siempre a mi lado brindándome apoyo constante, comprensión y motivación, siendo un pilar fundamental en las distintas etapas de este proceso.

Financiamiento

El presente estudio no ha recibido fuentes de financiamiento para la realización de la investigación.

Conflicto de interés

El autor informa la ausencia de conflicto de interés con respecto al contenido del presente estudio.

Referencias

- [1] Junta Nacional de Cuerpos de Bomberos de Chile. Ley N° 20.564: Ley Marco de Bomberos de Chile. <https://dt.gob.cl/legislacion/1624/w3-article-111031.html>.
- [2] Yáñez M del R, Miranda MJ. Relatos Grabados a Fuego. Mártires de Bomberos de Chile. Primera Edición. Departamento Desarrollo Académico, editor. Vol. 1. Santiago: Academia Nacional de Bomberos de Chile; 2018.
- [3] Vásquez-Arenas PE. Ergonomía: factores de riesgo en bomberos. EID Ergonomía, Investigación y Desarrollo. 2023;5(3):76–84.
- [4] Yusof Mohamed BM, Musa RM, Nazarudin MN, Abdul Majeed APP, Raj NB, Eswaramoorth V. Anthropometric and fitness predictors of operational preparedness among Malaysian firefighters: a clustering and multivariate logistic regression approach. Retos. 2025 Jul 16;69:1326–34.
- [5] Stevenson RDM, Siddall AG, Turner PFJ, Bilzon JLJ. Physical Employment Standards for UK Firefighters. J Occup Environ Med. 2017 Jan;59(1):74–9.
- [6] Sheaff AK, Bennett A, Hanson ED, Kim YS, Hsu J, Shim JK, et al. Physiological Determinants of the Candidate Physical Ability Test in Firefighters. J Strength Cond Res. 2010 Nov;24(11):3112–22.
- [7] Vandersmissen GJM, Verhoogen RAJR, Van Cauwenbergh AFM, Godderis L. Determinants of maximal oxygen uptake (VO₂ max) in fire fighter testing. Appl Ergon. 2014 Jul;45(4):1063–6.

- [8] Espinoza F, Delgado-Floody P, Martínez-Salazar C, Jerez-Mayorga D, Guzmán-Guzmán IP, Caamaño-Navarrete F, et al. The influence of cardiometabolic risk factors on cardiorespiratory fitness in volunteer Chilean firefighters. *American Journal of Human Biology*. 2019 Sep 24;31(5).
- [9] Papadakis Z, Stamatis A, Beitia P. Personal protective equipment impacts firefighters' anaerobic fitness. *Occup Med (Chic Ill)*. 2024 Jul 29;74(5):342–7.
- [10] Chizewski AM. **FIGHTERS: FITNESS INTERVENTION IN RECRUIT FIREFIGHTERS**. Illinois; 2019.
- [11] Andrews KL, Gallagher S, Herring MP. The effects of exercise interventions on health and fitness of firefighters: A meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports*. 2019 Jun 10;29(6):780–90.
- [12] Parpa K, Michaelides M. Age-Related Differences in Physical Fitness and Performance of an “Ability Test” among Firefighters. *Muscles*. 2024 Mar 7;3(1):88–99.
- [13] Langford E SRMBRG. Physical fitness initiatives in the fire service: barriers, benefits, and considerations. University of Kentucky, Texas A&M University-Corpus Christi, Georgia Southern University. 2019 Jul;
- [14] Instituto Nacional de Estadísticas, Censo resultados Región del Maule 2024. Santiago de Chile: INE; 2024 [citado 2025 Sep 22]. Disponible en https://censo2024.ine.gob.cl/wp-content/uploads/2025/03/07_PRESENTACION_REGIONAL-MAULE.pdf
- [15] Patterson R, McNamara E, Tainio M, de Sá TH, Smith AD, Sharp SJ, et al. Sedentary behaviour and risk of all-cause, cardiovascular and cancer mortality, and incident type 2 diabetes: a systematic review and dose response meta-analysis. *Eur J Epidemiol*. 2018 Sep 28;33(9):811–29.
- [16] Centro de Investigación en Políticas Públicas (CIPEM). Actividad física de la población: En contexto latinoamericano y el caso chileno [Internet]. Santiago de Chile: CIPEM; 2023 [citado 2025 feb 16]. Disponible en: <https://cipem.cl/estudios/>
- [17] Javier Enríquez Schmidt MBPNFSFEFMMUarac. Asociación entre el riesgo cardiovascular y la condición física en bomberos de Valdivia, Chile. *Revista de Estudiosos del Movimiento*. 2018 Aug;5(1):17–23.
- [18] Eichele D, Kappes M, Barlupo P, Opitz Á, Navarro J, Riquelme V. Factores de riesgo cardiovascular en bomberos en servicio activo. *Revista Chilena de Nutrición*. 2025 Jun 27;52(3):144–53.
- [19] Troncoso C, Gómez D. Efectos de un programa de ejercicio físico funcional sobre el equilibrio, la estabilidad dinámica y la fuerza de extremidad inferior en Bomberos de la Quinta Compañía de la ciudad de Talca. *Revista Chilena de Rehabilitación y Actividad Física*. 2022 Dec 30;1–16.

- [20] Kiss P, de Meester M, Maes C, De Vriese S, De Smet AM, Coelis M, Inspanningstolerantie en lichaamsvet bij Vlaamse brandweermannen. Eerste resultaten. Tijdschr Geneeskd. 2010;(13):662–8.
- [21] Serra ME. Participation and education: the Declaration of Helsinki in today's context. Arch Argent Pediatr. 2025 Jun 1;123(3):e202410585.
- [22] Inkpen SJL, Liu H, Rayner S, Shields E, Godin J, O'Brien MW. Exercise referral schemes increase Patients' cardiorespiratory Endurance: A systematic review and Meta-Analysis. Prev Med Rep. 2024 Sep;45:102844.
- [23] Klever Geovanny Lema Villalba; Darío Fernando Pérez Pérez; Santiago Ernesto Garcés Durán. Fitness de combate en el desarrollo de la resistencia aeróbica de practicantes de Ambato, Ecuador. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar. 2021 Dec;5(6):13676–93.
- [24] García GC, Secchi JD. Test course navette de 20 metros con etapas de un minuto. Una idea original que perdura hace 30 años. Apunts Medicina de l'Esport. 2014 Jul;49(183):93–103.
- [25] Song JR, Lee SH, Kim YJ, Kim SJ, Kim DY, Kim CS, et al. Development of New Estimation Formula Based on Astrand-Ryhming Step Test Protocol for VO₂max Evaluation of Adolescents (13-18 years). Exercise Science. 2018 Feb 28;27(1):71–9.
- [26] Badami S, Baragundi M. Comparative study of resting and post exercise pulse rates between students of medical education and physical education-a cross sectional study. Indian J Clin Anat Physiol. 4(3):364.
- [27] Schaffarczyk M, Rogers B, Reer R, Gronwald T. Validity of the Polar H10 Sensor for Heart Rate Variability Analysis during Resting State and Incremental Exercise in Recreational Men and Women. Sensors. 2022 Aug 30;22(17):6536.
- [28] American College of Sports Medicine. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 11th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer; 2021.
- [29] Bianco A, Lupo C, Alesi M, Spina S, Raccuglia M, Thomas E, et al. The sit up test to exhaustion as a test for muscular endurance evaluation. Springerplus. 2015 Dec 2;4(1):309.
- [30] Chizewski A, Box A, Kesler R, Petruzzello SJ. Fitness Fights Fires: Exploring the Relationship between Physical Fitness and Firefighter Ability. Int J Environ Res Public Health. 2021 Nov 9;18(22):11733.
- [31] Lehecka BJ, Black J, Jindra J, McCloud C, Pummell C. The Single-Leg Wall Squat Test: An Assessment of Functional Lower Extremity Endurance in University Students. Int J Sports Phys Ther. 2025;20(8):1198–202.

- [32] Gutiérrez-Arroyo J, García-Heras F, Carballo-Leyenda B, Villa-Vicente JG, Rodríguez-Medina J, Rodríguez-Marroyo JA. Effect of a High-Intensity Circuit Training Program on the Physical Fitness of Wildland Firefighters. *Int J Environ Res Public Health*. 2023 Jan 23;20(3):2073.
- [33] Sokoloski ML, Rigby BR, Bachik CR, Gordon RA, Rowland IF, Zumbro EL, et al. Changes in Health and Physical Fitness Parameters After Six Months of Group Exercise Training in Firefighters. *Sports*. 2020 Oct 28;8(11):143.
- [34] Storer TW, Dolezal BA, Abrazado ML, Smith DL, Batalin MA, Tseng CH, et al. Firefighter Health and Fitness Assessment. *J Strength Cond Res*. 2014 Mar;28(3):661–71.
- [35] Ajjimaporn A, Khemtong C, Willems MET. Body composition and physical fitness improve after 8 weeks of high-intensity circuit training using body weight in obese women. *J Sports Med Phys Fitness*. 2023 Feb;63(2).
- [36] Mayorga-Vega D, Aguilar-Soto P, Viciano J. Criterion-Related Validity of the 20-M Shuttle Run Test for Estimating Cardiorespiratory Fitness: A Meta-Analysis. *J Sports Sci Med*. 2015 Sep;14(3):536–47.
- [37] Ho SY, Chung YC, Wu HJ, Ho CC, Chen HT. Effect of high intensity circuit training on muscle mass, muscular strength, and blood parameters in sedentary workers. *PeerJ*. 2024;12:e17140.
- [38] Heinrich KM, Spencer V, Fehl N, Carlos Poston WS. Mission Essential Fitness: Comparison of Functional Circuit Training to Traditional Army Physical Training for Active Duty Military. *Mil Med*. 2012 Oct;177(10):1125–30.
- [39] Maxwell EG, Collins SM, Lucas JM. The Effects of a Core Stabilization Training Program on the Performance of Functional Tasks in Firefighters. *Int J Exerc Sci*. 2024;17(4):602–10.
- [40] Klika B, Jordan C. HIGH-INTENSITY CIRCUIT TRAINING USING BODY WEIGHT. *ACSMs Health Fit J*. 2013 May;17(3):8–13.