UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

DETERMINACIÓN A LA EXPOSICIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO DEL PERSONAL DEL CUERPO DE BOMBEROS DE LA XII COMANDANCIA DEPARTAMENTAL DE BOMBEROS DE UCAYALI - 2023

Tesis para optar el título profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

JHOAN KENEDY ASIN ARRATEA

Pucallpa, Perú

2026

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
COMISIÓN DE GRADOS Y TITULOS

ACTA DE APROBACION DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
N°260/2026-CGyT-FCFyA-UNU

En la Ciudad de Pucallpa, siendo las 10:00 am del día martes 17 de febrero del 2026, de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en el Auditorio de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales siendo designados con Memo Mult. N.º 007-2026-UNU-FCsFyA-CGT, conformado por los siguientes docentes:

Dr. Gabriel Mercado Jauregui	Presidente
Dr. Mack Henry Pinchi Ramírez	Miembro
M.Sc. Jenny Paola Zeña Rubio	Miembro

Se procedió a la sustentación de la tesis titulada **"Determinación a la Exposición de Monóxido de Carbono del Personal de Cuerpo de Bomberos de la XII Comandancia Departamental de Bomberos de Ucayali-2023"** presentado por el bachiller **JHOAN KENEDY ASIN ARRATEA**, asesorado por M.Sc. Tedy Tuesta Torrejón. finalizada la sustentación, se procedió a la formulación de preguntas por parte del Jurado Evaluador, siendo absueltas por el sustentante en consecuencia la tesis fue aprobada por **UNANIMIDAD**, y recomendación de publicación, quedando expedito para el otorgamiento del **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL**. Siendo las 11:00 am del mismo día, se procedió por culminar el acto académico, firmando los miembros en señal de conformidad.
Se recomienda levantar las observaciones para continuar el trámite correspondiente.

Dr. Gabriel Mercado Jauregui
Presidente

Dr. Mack Henry Pinchi Ramírez
Miembro

M.Sc. Jenny Paola Zeña Rubio
Miembro

ACTA DE APROBACION DE TESIS

ACTA DE APROBACIÓN DE TESIS

Esta tesis fue sometida para su aprobación ante el jurado de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, de la Universidad Nacional de Ucayali, integrado por los siguientes docentes:

Dr. Gabriel Mercado Jauregui — PRESIDENTE

Dr. Mack Henry Pinchi Ramírez — PRIMER MIEMBRO

M.Sc. Jenny Paola Zeña Rubio — SEGUNDO MIEMBRO

M.Sc. Tedy Tuesta Torrejon — ASESOR

Bach. Jhoan Kenedy Asin Arratea — TESISTA

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Nº **V/775-2025**.

La Dirección de Producción Intelectual de la Universidad Nacional de Ucayali, hace constar por la presente, que el trabajo académico de investigación, titulado:

"DETERMINACIÓN A LA EXPOSICIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO DEL PERSONAL DEL CUERPO DE BOMBEROS DE LA XII COMANDANCIA DEPARTAMENTAL DE BOMBEROS DE UCAYALI - 2023"

Autor(es)	:	**ASIN ARRATEA, JHOAN KENEDY**
Facultad	:	**CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES**
Escuela	:	**ING. AMBIENTAL**
Asesor(a)	:	**M.Sc. TUESTA TORREJON, TEDY**

Presenta un **porcentaje de similitud de 5%,** verificado en el Sistema Antiplagio COMPILATIO,

De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica que todo trabajo de investigación no debe superar el 10%. **En tal sentido, se declara, que el presente trabajo de investigación presenta un porcentaje aceptable de similitud,** procediéndose a emitir la presente Constancia de Originalidad de Trabajo de Investigación (COTI) a solicitud del asesor.

En señal de conformidad se firma y sella el presente documento.

Fecha: 16/12/2025

Dr. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

Escaneado con CamScanner

AUTORIZACION DE PUBLICACION DE TESIS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, JHOAN KENEDY ASIN ARRATEA

Autor de la tesis titulada : DETERMINACIÓN A LA EXPOSICIÓN DE MONOXIDO DE CARBONO DEL PERSONAL DE CUERPO DE BOMBEROS DE LA XII COMANDANCIA DEPARTAMENTAL DE BOMBEROS UCAYALI - 2023

Sustentada el año: 2026

Asesor(a): TEDY TUESTA TORREJON

Facultad: CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

Escuela Profesional: INGENIERIA AMBIENTAL

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 17/02/2026

Email: asinastassom830122000@gmail.com Firma:

Teléfono: 973641154 DNI: 73814092

www.repositorio.unu.edu.pe
repositorio@unu.edu.pe

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico:

A Dios, fuente de vida y fortaleza, por sostenerme en cada paso, por mostrarme su luz en los momentos de dificultad y por cubrirme siempre con su protección infinita. A Él, que guía mi mente, mis decisiones y mis sueños.

A mis padres, José Luis y Zenobia, cuyo amor incondicional, esfuerzo incansable y ejemplo de dedicación han sido la base de todo lo que hoy soy. Gracias por enseñarme que los obstáculos se vencen con valentía y que el sacrificio siempre tiene recompensa. Este logro también es suyo.

A mis amigos más cercanos, por brindarme alegría, compañía y apoyo emocional cuando más lo necesité. Su presencia ha sido clave para mantenerme firme y avanzar con confianza en cada etapa de este camino.

AGRADECIMIENTOS

Muestro mis más sinceros agradecimientos:

A la Universidad Nacional de Ucayali por haberme dado la oportunidad de estudiar y culminar los estudios obteniendo el grado de Bachiller en Ciencias Ambientales y ahora para obtener el título de Ingeniero Ambiental.

Al Ing. Tedy Tuesta Torrejón como docente, asesor, amigo, por las enseñanzas para la formulación del proyecto de tesis y el asesoramiento durante la ejecución, redacción y sustentación del mismo.

A los docentes de la Escuela profesional de Ingeniería Ambiental que me enseñaron, cuyos conocimientos me permitieron un mejor desarrollo y alcance profesional para sobresalir al exterior.

A todas aquellas personas como mi madre Zenobia, padre José Luis y amigos cercanos que de una u otra manera contribuyeron en la realización de la presente tesis para optar el grado de Ingeniero Ambiental.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTOS vii
ÍNDICE GENERAL viii
ÍNDICE DE TABLAS xi
ÍNDICE DE FIGURAS x
ÍNDICE DE ANEXOS xii
RESUMEN xiii
ABSTRACT xiv
INTRODUCCIÓN 15
CAPÍTULO I 17
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 17
1.1. Descripción del Problema 17
1.1.1. Problema General 18
1.1.2. Problemas Específicos 18
1.2. Objetivos de la Investigación 19
1.2.1. Objetivo General 19
1.2.2. Objetivos Específicos 19
1.3. Hipótesis 19
1.3.1. Hipótesis General 19
1.3.2. Hipótesis Específicas 20
CAPÍTULO II 21
MARCO TEÓRICO 21
2.1. Antecedentes de la Investigación 21
2.1.1. Antecedentes Internacionales 21
2.1.2. Antecedentes Nacionales 26
2.2. Bases Teóricas 27
2.2.1. Contaminantes atmosféricos 27
2.2.2. Monóxido de carbono 28
2.2.3. Exposición de los bomberos al Monóxido de Carbono 28
2.2.4. Monitoreo del Monóxido de Carbono 29
2.3. Definición de Términos Básicos 32

CAPÍTULO III 34
METODOLOGÍA 34
3.1. Método de Investigación 34
3.1.1. Tipo de Investigación 34
3.1.2. Nivel de Investigación 34
3.1.3. Diseño de la Investigación 34
3.2. Población, muestra y ubicación 35
3.2.1. Población 35
3.2.2. Muestra 35
3.2.3. Ubicación del Estudio 36
3.3. Procedimiento de recolección de datos 38
3.4. Técnicas e instrumentos para recolección de datos 40
3.5. Procesamiento para recolección de datos 40
3.6. Tratamiento de datos 40
CAPÍTULO IV 42
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 42
4.1. Condiciones de servicio que aumentan la exposición al monóxido de carbono del personal del cuerpo de bomberos de UBOB103 y UBO-B46 de la XII comandancia departamental de bomberos de Ucayali. 42
4.2. Niveles de carboxihemoglobina en sangre del personal del cuerpo de bomberos (UBO-B103 y UBO-B46 de la XII comandancia departamental de bomberos de Ucayali) después de la extinción de incendios 45
4.3. Relación entre el nivel de Cohb. edad y peso del personal del cuerpo de bomberos de UBO 103 y UBO 46 de la XII comandancia departamental de bomberos de Ucayali 46
4.4. Discusión 50
CONCLUSIONES 53
RECOMENDACIONES 54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 55
ANEXOS 61

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Ubicación de la compañía de bombero UBO-B46……37
Figura 2. Ubicación de la compañía de bombero UBO-B103……..38
Figura 3. Años de servicio en el cuerpo de bomberos voluntario de Perú……42
Figura 4. Participación en intervención con humos densos……43
Figura 5. Tiempo de permanencia dentro del area afectada por el incendio……43
Figura 6. Uso de equipo de protección respiratoria en las intervenciones con humo…… 44
Figura 7. Síntomas compatibles con exposición a CO……..44
Figura 8. Dispersión puntos de los niveles de COHb y el peso de las personas de la compañía de bomberos.....48
Figura 9. Dispersión de puntos de los niveles de COHb y la edad de las personas de dos compañías de bomberos.....50

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Limites establecidos de carboxihemoglobina……..30
Tabla 2. Efectos fisiológicos en función de los rangos de concentración de COHb…….. 32
Tabla 2. Nivel de carboxihemoglobina en la sangre del personal del cuerpo de bomberos en dos compañías en la ciudad de Pucallpa 46
Tabla 3. Análisis de regresión entre el peso del personal del cuerpo de bomberos y el nivel de COHb…… 47
Tabla 4. Análisis de regresión entre la edad del personal del cuerpo de bomberos y el nivel de COHb…….....49

ÍNDICE DE ANEXOS

Pág.

Anexo 01. Extracción de muestra de sangre del personal del cuerpo de bombero UBO-B103…… 61
Anexo 02. Extracción de muestra de sangre del personal del cuerpo de bombero UBO-B46…….....61
Anexo 03. Compañía de bomberos *UBO-B103* 62
Anexo 04. Compañía de bomberos UBO-B46 62
Anexo 05. Uniformes de protección contra incendios 63
Anexo 06. Camión de Bomberos 63
Anexo 07. Resultados de pruebas de carboxihemoglobina - UBO 103……64
Anexo 08. Resultados de pruebas de carboxihemoglobina - UBO 46……..64
Anexo 09. Carne general de bomberos voluntarios del Perú……..65

RESUMEN

El monóxido de carbono representa un riesgo representativo para los bomberos debido a la utilización del oxígeno a nivel sistémico, es por ello que la la presente investigación tuvo como objetivo determinar la exposición al monóxido de carbono del personal del Cuerpo de Bomberos UBO-B103 (Unidad básica operativa – B 103) y UBO-B46 (Unidad básica Operativa - B 46) de la XII Comandancia Departamental de Bomberos de Ucayali. El estudio se desarrolló en la ciudad de Pucallpa, provincia de Coronel Portillo, región Ucayali. Se trabajó con una muestra probabilística conformada por 20 bomberos operativos. El nivel de estudio fue cuantitativo, de tipo aplicada. Los resultados mostraron que las condiciones de servicio como la participación en intervenciones con humos densos, la permanencia prolongada en zonas con residuos de combustión y el uso discontinuo del equipo de respiración autónoma fueron factores determinantes en el incremento de la exposición al monóxido de carbono. Asimismo, los niveles de carboxihemoglobina obtenidos después de las intervenciones presentaron una media general de 1.97%, con valores que alcanzaron hasta 3.05%, superando en algunos casos los límites de referencia establecidos por organismos internacionales. Por otro lado, el análisis estadístico evidenció que no existe una relación significativa entre el nivel de COHb y las características individuales como la edad y el peso, demostrando que estas variables no influyen de manera decisiva en la absorción de monóxido de carbono. En conjunto, los hallazgos indican que la exposición al CO en los bomberos evaluados depende principalmente de factores operativos y del cumplimiento de los protocolos de seguridad, lo que subraya la necesidad de fortalecer las medidas preventivas, asegurar el uso adecuado del SCBA y mejorar las condiciones de servicio para reducir los riesgos asociados a la inhalación de gases tóxicos durante las intervenciones.

Palabras claves: Carboxihemoglobina (COHb), monóxido de carbono, bomberos voluntarios, incendio, estructura, exposición.

ABSTRACT

Carbon monoxide poses a significant risk to firefighters due to its systemic oxygen consumption. Therefore, this research aimed to determine the carbon monoxide exposure of personnel from the UBO-B103 (Basic Operational Unit – B 103) and UBO-B46 (Basic Operational Unit – B 46) Fire Departments of the XII Departmental Fire Command of Ucayali. The study was conducted in the city of Pucallpa, Coronel Portillo Province, Ucayali Region. A probabilistic sample of 20 operational firefighters was used. The study was quantitative and applied in nature. The results showed that service conditions, such as participation in interventions involving dense smoke, prolonged exposure to combustion residue, and intermittent use of self-contained breathing apparatus, were determining factors in the increased carbon monoxide exposure. Furthermore, carboxyhemoglobin levels obtained after the interventions showed an overall average of 1.97%, with values reaching up to 3.05%, exceeding in some cases the reference limits established by international organizations. On the other hand, the statistical analysis showed no significant relationship between COHb levels and individual characteristics such as age and weight, demonstrating that these variables do not decisively influence carbon monoxide absorption. Overall, the findings indicate that CO exposure in the firefighters evaluated depends primarily on operational factors and adherence to safety protocols, which underscores the need to strengthen preventive measures, ensure the proper use of SCBA, and improve working conditions to reduce the risks associated with inhaling toxic gases during interventions.

Keywords: Carboxyhemoglobin (COHb), carbon monoxide, volunteer firefighters, fire structure, exposure.

INTRODUCCIÓN

El monóxido de carbono (CO) es uno de los contaminantes atmosféricos más peligrosos y de mayor incidencia en entornos de combustión, caracterizado por ser un gas incoloro, inodoro y altamente tóxico. Según Penney et al., (2010), la exposición prolongada o repetitiva a concentraciones elevadas de CO puede causar daños neurológicos, cardiovasculares y, en casos severos, la muerte. En el ámbito ocupacional, el personal del Cuerpo de Bomberos se encuentra dentro del grupo más vulnerable, debido a su constante exposición a escenarios con altas emisiones de gases producto de incendios estructurales y forestales (Sammons & Coleman, 1974).

Diversas investigaciones internacionales han evidenciado que los niveles de carboxihemoglobina (COHb) en bomberos pueden superar los valores de referencia establecidos por la Occupational Safety and Health Administration (OSHA), incluso cuando se utilizan equipos de respiración autónoma (Jankovic et al., 1991). De acuerdo con Sebastião et al., (2021), los periodos de intervención prolongados, la intensidad del esfuerzo físico y la ventilación inadecuada de los entornos incendiados favorecen una absorción acelerada de CO, incrementando los riesgos de hipoxia y estrés cardiovascular.

En América Latina, este riesgo se acentúa por la falta de monitoreo sistemático de la calidad del aire en operaciones de emergencia y la limitada disponibilidad de equipos de protección personal de última generación. En el contexto peruano, particularmente en la región de Ucayali, las condiciones climáticas, la infraestructura deficiente y la exposición frecuente a incendios forestales aumentan la vulnerabilidad del personal bomberil. A pesar de ello, los estudios sobre exposición ocupacional al CO en bomberos peruanos son escasos o inexistentes, lo que genera un vacío de información para el diseño de estrategias de prevención y control.

Por lo tanto, la presente investigación busca determinar de la exposición a monóxido de carbono del personal del cuerpo de Bomberos UBO- B103 y UBO-B46 de la XII comandancia departamental de Ucayali durante el año 2023, con el propósito de identificar los factores de riesgo, cuantificar los niveles promedio de exposición y evaluar el cumplimiento de los estándares internacionales de seguridad. El desarrollo

de este estudio es relevante no solo por su aporte académico, sino también por su impacto social y preventivo. Los resultados permitirán proponer protocolos de monitoreo y control del CO, optimizar el uso del equipo de protección respiratoria y fortalecer las políticas de seguridad laboral dentro del Cuerpo General de Bomberos del Perú, contribuyendo así al bienestar del personal y a la reducción de riesgos en las operaciones de rescate y combate de incendios.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del Problema

Las alarmantes proyecciones de cambio climático, apuntan hacia un incremento de la temperatura, ya que según nuevos datos climáticos de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), hay un 50 % de probabilidades de que por lo menos en uno de los próximos cinco años, la temperatura media anual del planeta supere transitoriamente en 1,5 °C los niveles preindustriales (OMM, 2022). “En el año 2021 la temperatura media mundial se situó en 1,1°C por encima de los niveles preindustriales de referencia” (OMM, 2021); causando el incremento del número de días con riesgo alto de incendios estructurales.

Según ONU, (2022), los incendios estructurales (urbanos, rurales e industriales) no solo ocasionan daños ambientales y estructurales, sino que también son responsables de un aumento de emisiones de monóxido de carbono, dióxido de carbono y pequeñas cantidades de material particulado a la atmosfera. Recalcando que estudios anteriores han comprobado una asociación del monóxido de carbono con la morbilidad.

Según WHO, (2025), estima que la exposición a la contaminación del aire ambiental causa cada año aproximadamente 3,7 millones de muertes prematuras en todo el mundo. Así mismo Vedrenne et al., (2015) indican que la degradación del aire también resulta en un aumento de la carga de otras enfermedades relacionadas, una reducción en la esperanza de vida y un aumento en el gasto público en atención de la salud que conlleva a la contaminación del aire, costos financieros y de calidad de vida considerables.

El personal del Cuerpo de Bomberos, debido a su labor esencial en situaciones de emergencia (incendios estructurales) se enfrenta a diversos riesgos ambientales, siendo uno de los más significativos la exposición al monóxido de carbono (CO). Este gas incoloro e inodoro es producido por la combustión incompleta de diversos

materiales y puede tener efectos perjudiciales para la salud humana, incluso en niveles bajos de concentración (CCO, 2016).

A pesar de su compromiso en salvaguardar la seguridad y el bienestar de la comunidad, existe una preocupante falta de información sobre el nivel real de exposición al monóxido de carbono al que están sometidos los bomberos durante su trabajo. Esta falta de conocimiento plantea un problema potencial, ya que la exposición prolongada o repetitiva a este gas podría tener consecuencias negativas para la salud a corto y largo plazo. Bajo estas circunstancias es indispensable determinar la exposición a monóxido de carbono del personal del cuerpo de bomberos de UBO - B103 Y UBO - B46 de la XII Comandancia Departamental de Bomberos de Ucayali.

1.1.1. Problema General

- ¿Existe exposición a monóxido de carbono en el personal del cuerpo de bomberos de UBO-B103 y UBO-B46 de la XII comandancia departamental de bomberos de Ucayali?

1.1.2. Problemas Específicos

- ¿Cuáles son las condiciones de servicio que aumentan la exposición al monóxido de carbono del personal del cuerpo de bomberos de UBOB103 y UBO-B46 de la XII comandancia departamental de bomberos de Ucayali?

- ¿Cuáles son los niveles de carboxihemoglobina en la sangre del personal del cuerpo de bomberos (UBO-B103 y UBO-B46 de la XII comandancia departamental de bomberos de Ucayali) después de la extinción de incendios?

- ¿Cuál es la relación entre el nivel de COHb, edad y peso del personal del cuerpo de bomberos de UBO-B103 y UBO-B46 de la XII comandancia departamental de bomberos de Ucayali?

1.2. Objetivos de la Investigación

1.2.1. Objetivo General

- Determinar la exposición a monóxido de carbono en el personal del cuerpo de bomberos de UBO-B103 y UBO-B46 de la XII comandancia departamental de bomberos de Ucayali.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Identificar las condiciones de servicio que aumentan la exposición al monóxido de carbono del personal del cuerpo de bomberos de UBOB103 y UBO-B46 de la XII comandancia departamental de bomberos de Ucayali.

- Cuantificar los niveles de carboxihemoglobina en sangre del personal del cuerpo de bomberos (UBO-B103 y UBO-B46 de la XII comandancia departamental de bomberos de Ucayali) después de la extinción del incendio.

- Analizar la relación entre el nivel de COHb, edad y peso del personal del cuerpo de bomberos de UBO-B103 y UBO-B46 de la XII comandancia departamental de bomberos de Ucayali.

1.3. Hipótesis

1.3.1. Hipótesis General

Ha: Existe alta exposición a monóxido de carbono en el personal del cuerpo de bomberos de UBO-B103 y UBO-B46 de la XII comandancia departamental de bomberos de Ucayali.

Ho: Existe baja exposición a monóxido de carbono en el personal del cuerpo de bomberos de UBO-B103 y UBO-B46 de la XII comandancia departamental de bomberos de Ucayali.

1.3.2. Hipótesis Específicas

- Ha: Las condiciones de servicio del personal del cuerpo de bomberos de UBO-B103 y UBO-B46 de la XII comandancia departamental de bomberos de Ucayali, son inadecuadas, aumentan la exposición al monóxido de carbono

  Ho: Las condiciones de servicio del personal del cuerpo de bomberos de UBO-B103 y UBO-B46 de la XII comandancia departamental de bomberos de Ucayali, no son inadecuadas, no aumentan la exposición al monóxido de carbono

- Ha: Los niveles de COHb en la sangre del personal del cuerpo de bomberos (UBO-B103 y UBO-B46 de la XII comandancia departamental de bomberos de Ucayali) después de la extinción de incendios, superan los límites permisibles de contaminación por monóxido de carbono.

  Ho: Los niveles de COHb en la sangre del personal del cuerpo de bomberos (UBO-B103 y UBO-B46 de la XII comandancia departamental de bomberos de Ucayali) después de la extinción de incendios, no superan los límites permisibles de contaminación por monóxido de carbono.

- Ha: Existe un grado de relación significante entre el nivel de COHb, edad y peso del personal del cuerpo de bomberos de UBO-B103 y UBO-B46 de la XII comandancia departamental de bomberos de Ucayali.

  Ho: No existe un grado de relación significante entre el nivel de COHb, edad y peso del personal del cuerpo de bomberos de UBO-B103 y UBO-B46 de la XII comandancia departamental de bomberos de Ucayali.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Los autores Torres et al., (2021), en sus pesquisa titulado: Contaminación del aire y su influencia en la incidencia de enfermedades respiratorias en Santa Elena Ecuador, en sus resultados mencionan lo siguiente:

> Se halló una correlación positiva moderada entre el valor promedio de COHb con las horas de la jornada diaria de trabajo (r = 0,674); con el uso de leña o carbón para cocinar en el trabajo (r = 0,537; 88%); y con la presencia de síntomas físicos como el dolor de cabeza (r = 0,616) y náuseas (r = 0,524). Estas alteraciones fisiológicas se presentan durante o inmediatamente después de la jornada de trabajo, según el 88% de los sintomáticos.

Burgess et al., (2001) en sus pesquisa titulada: Efectos respiratorios adversos después de una revisión en los bomberos; concluyen lo siguiente

> La fase de overhaul produce efectos respiratorios adversos, como disminución del flujo pulmonar y aumento de síntomas respiratorios posteriores a las intervenciones. Determinan que estos efectos se asocian principalmente a gases residuales y partículas finas que permanecen en el ambiente, recomendando reforzar las medidas de protección respiratoria.

Según Figueredo, (2019) en su investigación titulada: Comportamiento de los niveles de carboxihemoglobina en un grupo de trabajadores informales de la ciudad de San Lorenzo, menciona lo siguiente:

> Se seleccionaron 40 vendedores expuestos al fenómeno, y paralelamente se seleccionaron a otros 40 vendedores denominados grupo control. Cuyo resultado evidencio que los individuos tuvieron un promedio que va en aumento desde el primer día hasta el quinto día (5,5 a 6,7), luego fue bajándose hasta equilibrarse con lo de tercer día (6,2) en el día siete; a pesar de que las personas del grupo control (que no están expuestos). Concluyendo que las personas más susceptibles a sufrir incidencia del CO sobre su bienestar laboral pertenecen a los grupos sociales más desprotegidos.

Baxter et al., (2014) en sus pesquisa titulado: Exposición de bomberos a partículas e hidrocarburos aromáticos policíclicos; mencionan lo siguiente

> Los bomberos están expuestos de manera constante a material particulado fino (PM) y compuestos orgánicos como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) dentro de las estaciones de bomberos, incluso cuando no están combatiendo incendios. Determinan que estas exposiciones persistentes pueden representar un riesgo acumulativo para la salud respiratoria y cardiovascular del personal. Subrayan la necesidad de mejorar la ventilación y los protocolos de descontaminación.

Según los autores Dudziński et al., (2024) en sus investigación titulado: Exposición de los bomberos al monóxido de carbono durante las intervenciones de rescate y extinción de incendios: un análisis de 6 años; concluyen lo siguiente:

> La exposición al monóxido de carbono (CO) es un riesgo común y recurrente para los bomberos, no solo durante incendios sino también en intervenciones de rescate y otros incidentes “químicos” de origen no incendiario. Durante los 6 años analizados (2017-2022) hubo una gran cantidad de eventos (28.766) reportados por las unidades de protección contra incendios, donde el CO fue la causa del riesgo químico.

El autor Cadavid, (2015) en su pesquisa titulado: Medición de la concentración de carboxihemoglobina en grupos vulnerables en la ciudad de Quito, menciona lo siguiente:

> Se cuantificó la presencia de Carboxihemoglobina y su relación con la contaminación por Monóxido de carbono, usando una técnica espectrofotométrica, basada en la reducción con Ditionito de Sodio, metodología que fue validada para el posterior uso en las muestras de 3 poblaciones vulnerables de la ciudad de Quito; obteniendo en esta validación un Límite de Detección de 0.79% COHb; Límite de Cuantificación 1.94% COHB y la precisión obtenida tiene un CV < 10% en todos los niveles, valores aceptables para la cuantificación de carboxihemoglobina.

Así mismo Acosta, (2017), menciona en su investigación titulada: Concentraciones de monóxido de carbono y su incidencia en la salud del personal que labora en el parqueadero del edificio principal del GAD Municipal de Ambato, lo siguiente:

> Las concentraciones de monóxido de carbono (CO) es producto de la combustión de los vehículos, la medición de CO. Los resultados de los exámenes de carboxihemoglobina (COHb) a los cuatro trabajadores pertenecientes a la consola de seguridad, ya que, ellos permanecen las 8 horas laborales en su lugar de trabajo, los exámenes arrojaron un valor de 2.16% de un trabajador que fuma, pero sin embargo no es un valor alto comparado a los nivele de COHb para que se atribuya a concentraciones de CO en la sangre, sin embargo, en la encuesta realizada se establece que la mayor parte de los trabajadores presentan síntomas leves, finalmente tomando en consideración los resultados de las técnicas aplicadas se establece el rediseño del sistema de ventilación como la principal medida de solución a las concentraciones de CO generado por los automotores.

Caux et al., (2002) concluyen en sus publicación titulada: Determination of firefighter exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and benzene during fire fighting using measurement of biological indicators; lo siguiente:

> Los bomberos están expuestos a altas concentraciones de HAP y benceno durante el combate de incendios. A partir de mediciones en aire exhalado, demostraron que estas sustancias permanecen en el organismo incluso después de haber terminado la intervención, evidenciando una exposición significativa con potenciales efectos cancerígenos.

Según los autores Bermeo & Yungaicela, (2017), con sus investigación titulado: Evaluación del grado de exposición al monóxido de carbono mediante la medición de carboxihemoglobina en agentes de tránsito que laboran en las zonas sur y norte de Guayaquil Ecuador; determinan que:

> Los niveles de concentración de carboxihemoglobina (COHb) en sangre, como biomarcador de la exposición al monóxido de carbono en el ambiente, evaluando el %COHb en trabajadores mediante exámenes de sangre, el contenido de COHb es de 9,55 %, acercándose al límite superior aceptable (10 %). De hecho, el 41 % pueden considerarse expuestos a una atmósfera contaminada de acuerdo a los valores de COHb. Determinando que el 80% de la contaminación fue producida por la combustión vehicular y los síntomas más frecuentes fueron tos, dolor de cabeza y ardor de ojos. Pudiendo concluir que cualquiera puede estar intoxicado al exponerse a la atmósfera de la ciudad, independientemente de su tiempo de trabajo. Por lo que se sugirió que el Municipio este más comprometido en realizar monitores de la circulación de vehículos y emplear medidas de restricción vehicular.

Según Fabian et al., (2014) en la publicación de su investigación titulado: Caracterización de la exposición al humo de los bomberos; mencionan lo siguiente:

> Los bomberos están expuestos a una amplia mezcla de gases tóxicos, partículas ultrafinas y compuestos volátiles durante las operaciones contra incendios. Determinan que los niveles de exposición pueden superar los límites aceptables si no se utiliza adecuadamente el SCBA. También señalan que el

momento más crítico es el overhaul, donde la percepción visual de riesgo disminuye, pero los tóxicos persisten.

Los autores Rosas et al., (2015), en sus investigación titulado: Exposición a monóxido de carbono en trabajadores de control vehicular-Cuenca: estudio exploratorio, mencionan lo siguiente:

> El %COHb se determinó a partir de muestras de sangre tomadas al inicio y final de un día laboral de febrero, abril y julio de 2013. Los resultados evidenciaron que él %COHb se incrementó del inicio al final de la jornada laboral en ambos CRVs tanto en el grupo de trabajadores que fuman y no fumadores ($P< 0.001$). Entre los no fumadores ($N=42$), el %COHb al final de la jornada sobrepasó el valor límite biológico (VLB) para COHb (3.5%) únicamente en el CRV de Mayancela (4.12%, $P<0.05$). Entre los fumadores ($N=13$), los promedios de %COHb al final de la jornada sobrepasaron los VLB en ambos CRVs. Se concluyendo finalmente, que los trabajadores de los CRVs de Mayancela y aquellos especialmente los que fuman presentan %COHb mayores al VLB.

Tortorella et al., (2021), con sus pesquisa titulado: Escenarios de exposición a monóxido de carbono que orientan la sospecha clínica de intoxicación aguda, en sus resultados mencionan que:

> casi la mitad de los casos provinieron de una exposición colectiva. Sin embargo, se destacan casos que cursan aislados, por lo que es necesario analizar otros elementos. La asociación significativa entre intoxicación por CO en niños y su identificación dentro de un episodio de afectación colectiva señala la posibilidad de que casos aislados en niños puedan estar pasando desapercibidos si no hay una búsqueda activa de los casos. Los resultados de este trabajo no muestran una correlación entre severidad y edad de los pacientes. La dosificación de COHb en sangre confirma la presencia de CO unido a la hemoglobina. Será el valor máximo alcanzado y su persistencia lo que explique la sintomatología y posteriormente las secuelas. Los valores elevados en sangre confirman la exposición, pero los valores bajos no la descartan.

Según Nuñez, (2015) en su investigación titulado: Determinación de los niveles de carboxihemoglobina y repercusión en la salud de los trabajadores del botadero municipal de la ciudad de Ambato, concluye lo siguiente:

> Existe un aumento en los valores de carboxihemoglobina superiores al 2,5% del valor normal, los cuales se realizó al personal, y se pudo determinar que el 56 % de la población en estudio presenta un aumento de los valores de carboxihemoglobina, debido al tiempo prologado de exposición de gases tóxicos en este caso el monóxido de carbono dentro del botadero municipal de la ciudad de Ambato. Recalcando que los factores de riesgo a los que expusieron el personal ayudaron a determinar la intoxicación con monóxido de carbono y repercusión en la salud.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

El autor Mallqui, (2020) en su investigación titulado: Determinación de niveles de carboxihemoglobina en policías de tránsito de la ciudad de Huancayo, 2019, en sus resultados menciona lo siguiente:

> El nivel promedio de carboxihemoglobina es de 1.6859, el 37.5% presentaron niveles superiores entre los 26 y 30 (17.2%) años, las mujeres presentaron mayor incidencia (28.1%), los policías con 2 años de servicio (14.1%), así mismo las personas que tuvieron por lo menos 1 año en el servicio de tránsito (15.6%). Por lo que concluyo que más de la tercera parte de los policías presenta niveles por encima del valor normal de carboxihemoglobina.

Según los autores Ampuero & De La Cruz, (2022) en su tema de investigación titulado: Determinación de la exposición por monóxido de carbono en las personas – distrito de Ate – Lima, determinaron que:

> El Monóxido de carbono generado por combustión vehicular principalmente, al que está expuesto la población de Ate - Vitarte registra valores desde 16547 hasta 10.200 ug/cm3 , excediendo en todos los casos a los Límites Máximos

> Permisibles de acuerdo con las normas vigentes, del análisis realizado se puede apreciar que existe una apreciación de preocupación de la población frente a la contaminación por monóxido de carbono, lo que implica que se deben plantear soluciones para controlar los riesgos a los que se expone a la comunidad. Priorizaron el requerimiento de emprender acciones para mejorar las condiciones de calidad de vida en las ciudades.

Reyes, (2017) en la publicación de su investigación titulado: Determinación de los Niveles de Carboxihemoglobina en los Conductores de Transporte Público de la Ciudad de Arequipa; menciona lo siguiente:

> Los choferes del transporte público en Arequipa presentan una saturación promedio de carboxihemoglobina del 13,16%, cifra que supera ampliamente el nivel considerado normal en personas que no fuman, que es alrededor del 2%. Esto permite afirmar que los conductores que operan en la zona céntrica de la ciudad están expuestos a concentraciones de monóxido de carbono que representan un peligro tanto para su propia salud como para la seguridad de los usuarios y peatones. Aunque los efectos del CO han sido analizados con profundidad en diversos contextos, aún existe poca información sobre su impacto específico en trabajadores que laboran de manera continua en espacios con alto flujo vehicular. Esta situación se agrava por la escasa implementación de programas sostenidos de vigilancia en salud pública orientados al control de contaminantes atmosféricos y a la detección de intoxicaciones crónicas, particularmente en el ámbito ocupacional.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Contaminantes atmosféricos

Son aquellos contaminantes normados a los que se les han establecido un límite máximo permisible de concentración en el aire ambiente, con la finalidad de proteger la salud humana y asegurar el bienestar de la población. Se miden de manera continua los contaminantes criterio: ozono (O_3), dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO_2), las partículas en suspensión

(PM_{10}, $PM_{2.5}$) y el plomo (Pb) (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, 2025).

2.2.2. Monóxido de carbono

Es un gas tóxico, incoloro, inodoro e insípido que se produce principalmente por la combustión incompleta de materiales ricos en carbono, como gasolina, gas, madera o carbón. Tiene la capacidad de difundirse rápidamente en el organismo, donde ejerce efectos fisiológicos significativos debido a su alta afinidad por el grupo hemo de la hemoglobina, formando carboxihemoglobina (COHb). Este proceso reduce la capacidad de la sangre para transportar oxígeno, provocando un estado de hipoxia tisular (Abramov et al., 2024).

Coburn, (2022) define el monóxido de carbono como un gas altamente reactivo, que durante los procesos de intoxicación aguda actúa alterando múltiples sistemas biológicos. Señala que el CO no solo produce hipoxia por su unión a la hemoglobina, sino que también interactúa con moléculas señalizadoras como el óxido nítrico (NO) y el sulfuro de hidrógeno (H_2S), modificando rutas metabólicas críticas. Estas interacciones pueden generar un incremento en la producción de radicales libres, activar mecanismos inflamatorios y comprometer severamente la función cerebral y cardiovascular.

Según Bolaños & Chacón, (2017), la duración de la carboxihemoglobina en el cuerpo humano depende de varios factores, incluyendo la cantidad de monóxido de carbono inhalado, la duración de la exposición y la eficiencia del sistema respiratorio para eliminar el monóxido de carbono. En promedio, la vida media de la carboxihemoglobina en la sangre (el tiempo que tarda en disminuir a la mitad) es de alrededor de 4 a 6 horas en aire ambiente, pero este tiempo puede variar según las condiciones específicas.

2.2.3. Exposición de los bomberos al Monóxido de Carbono

La exposición personal de bomberos forestales (wildland) a CO, partículas finas ($PM_{2.5}$) y levoglucosan durante quemas planificadas. Encontraron que las tareas

de «holding» (mantener fuego) implicaban una exposición significativamente mayor a CO que las tareas de encendido (“lighting”), y que el tipo de vegetación (por ejemplo, pinos) también influía en los niveles de CO (Adetona et al., 2013)

La inhalación de humo de incendios forestales que incluye CO entre otros contaminantes puede provocar efectos respiratorios y cardiovasculares. Además, en su revisión sistemática los autores sugieren que este tipo de exposiciones podría estar asociado con un aumento en el riesgo de hipertensión entre bomberos forestales(Groot et al., 2019)

Según Departamento Técnico Academia Nacional de Bomberos de Chile, (2017)El monóxido de carbono liquido es utilizado principalmente industrial. Su contacto con la piel puede causar tanto congelación como quemaduras; además, su inhalación es extremadamente peligrosa y puede provocar la muerte. El EPP estructural de Bomberos no brinda protección cutánea, por lo que se debe utilizar un nivel de protección especial para realizar maniobras ofensivas como el cierre de una válvula o la contención del producto.

2.2.4. Monitoreo del Monóxido de Carbono

El monitoreo del CO se guía por estándares internacionales que establecen límites permisibles de exposición. Según Groot et al., (2019), organismos como la OSHA y la NIOSH establecen límites de exposición promedio ponderada en el tiempo (TWA) que no deben superar los 50 ppm durante 8 horas, mientras que exposiciones superiores a 200 ppm se consideran peligrosas y requieren evacuación inmediata. Para bomberos forestales, Navarro et al., (2019) enfatizan que, debido a la variabilidad del humo, es necesario un monitoreo más estricto mediante sensores personales que permitan identificar picos de exposición que podrían pasar desapercibidos en promedios generales.

El monitoreo sistemático del CO constituye una estrategia esencial para la prevención de daños respiratorios, cardiovasculares y neurológicos. De acuerdo con Carballo et al., (2010), el uso de dispositivos portátiles durante incendios ha permitido reducir la ocurrencia de intoxicaciones y mejorar la toma de decisiones tácticas en

campo, como la rotación del personal o el cambio de flancos de ataque. De manera complementaria, Adetona et al., (2013) señalan que la disponibilidad de datos precisos ha permitido elaborar políticas de seguridad más estrictas, así como programas de capacitación basados en evidencia para los cuerpos de bomberos y brigadas forestales.

2.2.5. Niveles de Carboxihemoglobina en sangre

La carboxihemoglobina (COHb) es un compuesto resultante de la unión del monóxido de carbono (CO) con la hemoglobina (Hb) presente en los glóbulos rojos. Según Weaver, (2009), esta afinidad es aproximadamente 240 veces mayor que la afinidad del oxígeno por la hemoglobina, lo que provoca un desplazamiento significativo del oxígeno y reduce la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre. Asimismo, Thom, (2011) explica que la formación de COHb no solo disminuye la saturación de oxígeno, sino que también altera la curva de disociación de la oxihemoglobina hacia la izquierda, dificultando la liberación del oxígeno en los tejidos.

Por otro lado, el límite establecido de carboxihemoglobina (COHb) en la sangre según la Organización Mundial de la Salud OMS, (2005), es del 2.5%. Esto significa que, en condiciones normales, se espera que los niveles de COHb en la sangre sean inferiores al 2.5% para mantener una oxigenación adecuada

Tabla 1. Límites establecidos de carboxihemoglobina

ITEM	LIMITES DE CARBOXIHEMOGLOBINA	ESCALA %
1	No fumadores	0.5 – 2.5 %
2	VLB	3.5 % total
3	Fumadores Pasivos	2 – 4 %
4	Fumadores	5 – 9 %
5	Intoxicación leve o moderada	12 – 20 %
6	Intoxicación aguda	20 – 30 %
7	Coma	50 – 70 %
8	Muerte Rápida	Mayor 70 %

El tiempo de exposición al CO, la capacidad de ventilación alveolar, el volumen sanguíneo y la actividad metabólica del individuo están muy relacionados con los niveles de carboxihemoglobina Enríquez & Cabrera, (2015). La causa más común de la alta concentración de COHb en las personas es el tabaco y la inhalación de sus productos por el fumador. Normalmente, los fumadores tienen un nivel medio de COHb del 5% mientras que en los no fumadores el nivel medio es del 1%. Sin embargo, personas expuestas a altos niveles de CO (encargados de garajes, agentes de tráfico, taxistas, camioneros) presentan niveles de COHb por encima del 3%.

2.2.6. Consecuencias del monóxido de Carbono (CO) en la salud y el medio ambiente

El monóxido de carbono (CO) es un gas altamente tóxico que afecta al organismo incluso a bajas concentraciones. Según Weaver, (2009), su principal mecanismo de daño ocurre a través de la formación de carboxihemoglobina (COHb), la cual reduce la capacidad de la hemoglobina para transportar oxígeno y genera una condición de hipoxia tisular. Thom, (2011) explica que incluso exposiciones moderadas pueden provocar cefalea, mareos, náuseas, visión borrosa y disminución de la capacidad cognitiva, mientras que exposiciones prolongadas pueden desencadenar pérdida de conciencia, convulsiones, arritmias e incluso la muerte.

De acuerdo con Weaver, (2009), los efectos del CO no se limitan solo al sistema respiratorio; también tiene impacto en el sistema cardiovascular, aumentando el riesgo de eventos isquémicos, especialmente en personas con enfermedades cardíacas preexistentes. Asimismo, Rose et al., (2017) señalan que la exposición crónica al CO puede causar trastornos neurocognitivos, alteraciones en la memoria, dificultades en la concentración y daño neuronal debido al estrés oxidativo y a la disfunción mitocondrial generada por el gas.

Además de los efectos en la salud humana, el monóxido de carbono posee diversas repercusiones ambientales. Según EPA, (2016), el CO contribuye de manera indirecta al aumento del ozono troposférico, ya que participa en reacciones fotoquímicas junto con óxidos de nitrógeno (NOx) y compuestos orgánicos volátiles (COV). Este proceso da lugar al smog fotoquímico, un contaminante atmosférico

responsable de problemas respiratorios, disminución de la calidad del aire y afectaciones en ecosistemas urbanos.

Por otra parte, Seinfeld & Pandis, (2016) mencionan que el CO influye en la oxidación atmosférica y puede alterar ciclos biogeoquímicos importantes, afectando la estabilidad química de la atmósfera. Asimismo, Finlayson & Pitts (1999) afirman que el CO, al reaccionar con radicales hidroxilo (OH), reduce la capacidad auto depuradora de la atmósfera, lo cual contribuye al aumento de otros contaminantes atmosféricos y exacerba el deterioro de la calidad del aire en grandes ciudades.

Tabla 2. Efectos fisiológicos en función de los rangos de concentración de COHb

Concentración de COHb (%)	Efectos fisiológicos
< 2	Nivel normal en personas sanas, sin efectos nocivos
2,3 - 4,3	Disminución estadísticamente significativa (3-7%), en relación entre el tiempo de trabajo y el agotamiento en hombres sanos bajo ejercicio
2,9 - 4,9	Disminución estadísticamente significativa de la capacidad de ejercicio físico, en pacientes con angina de pecho y de aumento de la duración de los ataques de angina.
5 – 15	Disminución estadísticamente significativa de la percepción visual, destreza manual, habilidad para aprender, o funcionamiento en tareas sensomotoras complejas
15 – 30	Cefalea moderada, disnea, falta de oxígeno en músculo cardíaco
30 – 40	Cansancio, Cefalea fuerte, náusea, vómitos, alteraciones de la visión, debilidad, confusión moderada
40 – 50	Estado de confusión, pérdida de conciencia, taquicardia, taquipnea
50-60	Estado de confusión, pérdida de conciencia, taquicardia, taquipnea
>60	Rápidamente fatal

Nota: Obtenido Bolaños y Chacón (2017), Kinoshita, et al., (2020), Gonzáles, (2002).

2.3. Definición de Términos Básicos

- **Bomberos activos:** Son personas naturales que cumplen con los requisitos, procedimientos y normas que regulan el ingreso y permanencia en el Cuerpo General de Bomberos Voluntarios del Perú (Gobierno del Perú, s. f.).

- **Bomberos:** Son personas responsables de la extinción de incendios, el rescate de personas, la prestación de asistencia médica y la realización de otras tareas relacionadas con la seguridad pública (Indeed, 2025).

- **Carboxihemoglobina:** Es un derivado de la hemoglobina al que se ha unido el monóxido de carbono. Cantidades elevadas de carboxihemoglobina ("intoxicación por monóxido de carbono") impiden el movimiento normal de oxígeno y dióxido de carbono en la sangre (Medlineplus, 2025).

- **Exposición de una sustancia:** Es el contacto con un químico y que este entro al cuerpo (ATSDR, 2018).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método de Investigación

3.1.1. Tipo de Investigación

En función con los objetivos planteados la investigación de tipo aplicada de acuerdo lo indicado por (Vargas, 2009), “La investigación de tipo aplicado consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variable alguna”. Él cual se describe rasgos importantes de las condiciones y organización del personal de bomberos UBO 103 y UBO 46 de la XII Comandancia Departamental de Bomberos de Ucayali.

3.1.2. Nivel de Investigación

El nivel de estudio fue de tipo aplicada, porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación. El uso del conocimiento y los resultados de investigación que da como resultado una forma rigurosa, organizada de conocer la realidad.

3.1.3. Diseño de la Investigación

El diseño metodológico utilizado en la presente investigación corresponde al diseño e investigación aplicada, debido a que no se manipulan variables y se busca describir los niveles de exposición al monóxido de carbono (CO) en el personal del Cuerpo de Bomberos de la XII Comandancia Departamental de Ucayali durante el año 2023. Los datos se obtuvieron en un único momento temporal, permitiendo caracterizar la situación actual de exposición; la gráfica es la siguiente:



Según la gráfica:

M = Muestra

Representa al conjunto de bomberos evaluados.

O_1 = Observación o medición

Corresponde a la medición de la exposición al monóxido de carbono mediante instrumentos (dosímetro, sensores, fichas, etc.)

3.2. Población, muestra y ubicación

3.2.1. Población

Estuvo constituida por el cuerpo de bombero de las compañías UBO-B103 y UBO-B46 que en total son 82 efectivos. Que asisten a emergencias de incendios estructurales, con un riesgo alto de contaminación ambiental.

3.2.2. Muestra

Para la determinación científica de la muestra se utilizará el muestreo probabilístico y el modelo para el cálculo de la muestra óptima.

$$M = \frac{n}{e^2(n-1)+1}$$

Dónde: M: Tamaño de la muestra.

n: Población

e: Error admisible para investigación (0,02%).

n - 1: Corrección geométrica para muestras mayores de 30 sujetos.

$$M = \frac{82}{0.02^2(82-1)+1}$$

M = 79

El tamaño muestral (79 bomberos) calculado no se alcanzó debido a restricciones presupuestarias y disposición de tiempo que limitaron el proceso de recolección de datos. Cual podría haber disminuido la potencia estadística del estudio y la precisión de las estimaciones, por lo que los resultados deben interpretarse considerando esta limitación metodológica

3.2.3. Ubicación del Estudio

El presente trabajo de investigación se realizó en las instalaciones de las compañías de bomberos de UBO-B103 y UBO-B46, en los distritos de Yarinacocha y Calleria, ubicadas en la provincia de coronel Portillo, departamento de Ucayali

Figura 1.

Ubicación de la compañía de bombero UBO-B46



Figura 2.

Ubicación de la compañía de bombero UBO-B103



3.3. Procedimiento de recolección de datos

Para la obtención o recolección de los datos, se utilizaron los siguientes instrumentos: encuesta al personal del cuerpo de bomberos, Las técnicas que se utilizaron en la recolección de datos fueron la observación y el registro de los datos dados por el laboratorio.

3.3.1. Obtención de datos del Análisis de carboxihemoglobina

La obtención de los datos de carboxihemoglobina fue medida en porcentaje (%) o gramos / decilitro (g/dl), y se realizaron al personal del cuerpo de bomberos por medio del Laboratorio Natura Analítica de Pucallpa, que a su vez será encargado de enviar las muestras al laboratorio de la ciudad de Lima. Se describe el proceso de análisis ejecutado:

a. Selección de voluntario. Después que los bomberos voluntarios realicen la extinción del incendio estructural se dirigieron acorde a su disponibilidad personal a las instalaciones del laboratorio Natura Analítica en los días acordados para la toma de muestra.

b. Identificación de la muestra. Cada tubo con muestra de sangre fueron rotulado con un código único para cada voluntario de acuerdo a la comandancia a la que pertenece cada personal. Ejemplo: UBO-103-01, UBO-46-02.

c. Recolección de la muestra. se empleó jeringas de 3mL estériles y tubos al vacío con EDTA (anticoagulante de elección en los laboratorios de hematología para la conservación de la muestra de sangre total).

d. Toma de muestra. se realizó previo al culminar con la emergencia. Para posteriormente ser enviados a la ciudad de Lima por el laboratorio Natura Analítica.

e. Conservación y transporte de muestra. Serán transportado en un envase refrigerado con ayuda de una gradilla en posición vertical con el tapón hacia arriba. f. Resultados. Se recepcionó los resultados en un lapso de una semana por el laboratorio natura analítica.

3.3.2. Obtención de datos condiciones servicio de personal del cuerpo de bomberos de UBO-B103 y UBO-B46.

La recolección de datos sobre las condiciones de servicio se realizaron mediante la observación directa y la realización de encuestas. Dicha encuesta consistirá en: Información general, estructura, equipo, seguridad.

a. Se realizó una visita a las instalaciones de las compañías de bomberos UBO-B103 y UBO-B46 para las condiciones de servicio

b. Luego se realizó 20 encuestas a los efectivos de las compañías de bomberos UBO-B103 y UBO-B46.

3.4. Técnicas e instrumentos para recolección de datos

3.4.1. Técnicas

Las Técnicas que se utilizaron en la investigación fueron las siguientes:

- Observación Directa
- Revisión de Registros Existentes o de Datos.

Mediante estas técnicas se pudo trabajar con los datos obtenidos de acuerdo a los objetivos de la investigación.

3.4.2. Instrumentos

Los instrumentos que se utilizaron para realizar la investigación fueron las siguientes:

- **Encuesta estructura**

Se elaboró encuestas con varias preguntas, para conocer las condiciones del personal del cuerpo de bomberos

3.5. Procesamiento para recolección de datos

Se realizaron el traspaso de los análisis de laboratorio al programa Excel 2019, ordenándolos de acuerdo a los resultados de orden creciente y por último hacer la comparación correspondiente. Donde estos datos se pasaron al programa SPSS para sus respectivos análisis estadístico.

3.6. Tratamiento de datos

Los datos recabados a través de las encuestas a realizados en las compañías de bomberos UBO-B103 y UBO-B46. Así como los resultados de los exámenes de carboxihemoglobina en sangre proporcionados el laboratorio, fueron procesados con el programa Excel 2019, que es un instrumento de análisis de datos cuantitativos, mediante el cual se presentaran los resultados en tablas numéricas y gráficos de cada una de las preguntas. Para el análisis de la correlación entre el nivel de COHb y tiempo de servicio, se utilizaron el coeficiente de correlación de Spearman para verificar si se detectan correlaciones significativas entre ellas.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se muestran los resultados de forma ordenada y relacionada, con los parámetros y criterios que permitieron realizar la investigación de la exposición a monóxido de carbono en el personal del cuerpo de bomberos de UBO-B103 y UBO-B46 de la XII comandancia departamental de bomberos de Ucayali.

4.1. Condiciones de servicio que aumentan la exposición al monóxido de carbono del personal del cuerpo de bomberos de UBOB103 y UBO-B46 de la XII comandancia departamental de bomberos de Ucayali.

En la Figura 3 se observa que el 75%, es decir 15 de los 20 encuestados tienen entre 1 a 3 años de servicio en el cuerpo de bomberos voluntario de Perú, mientras que el 15% (5 encuestados), tienen entre 3 a 7 años de servicios en el cuerpo de bomberos.

Figura 3.
Años de servicio en el cuerpo de bomberos voluntario de Perú

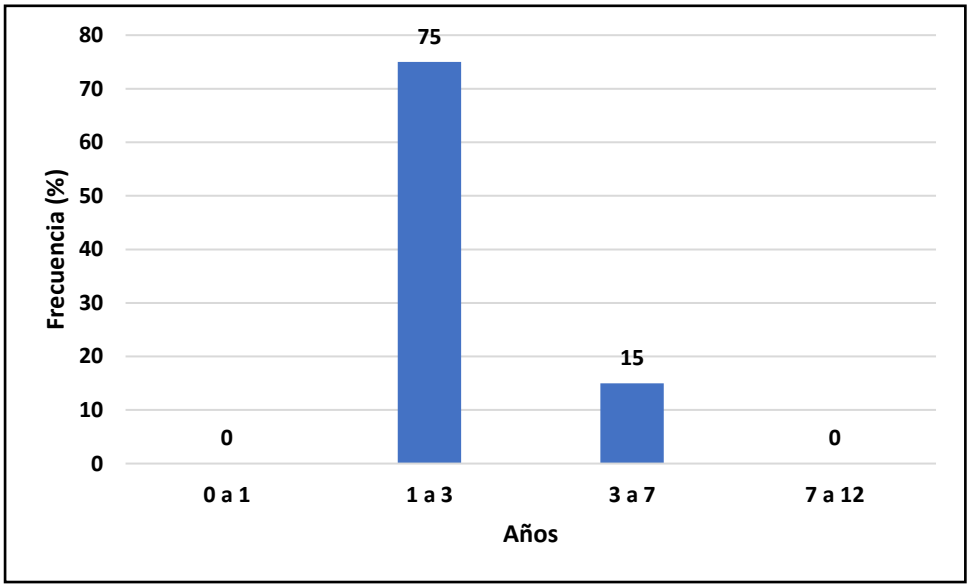
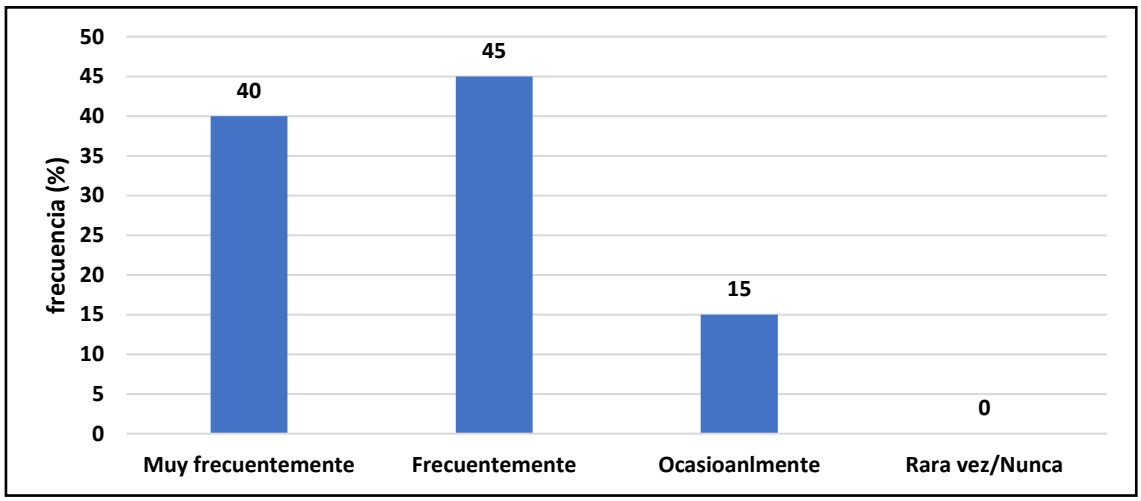


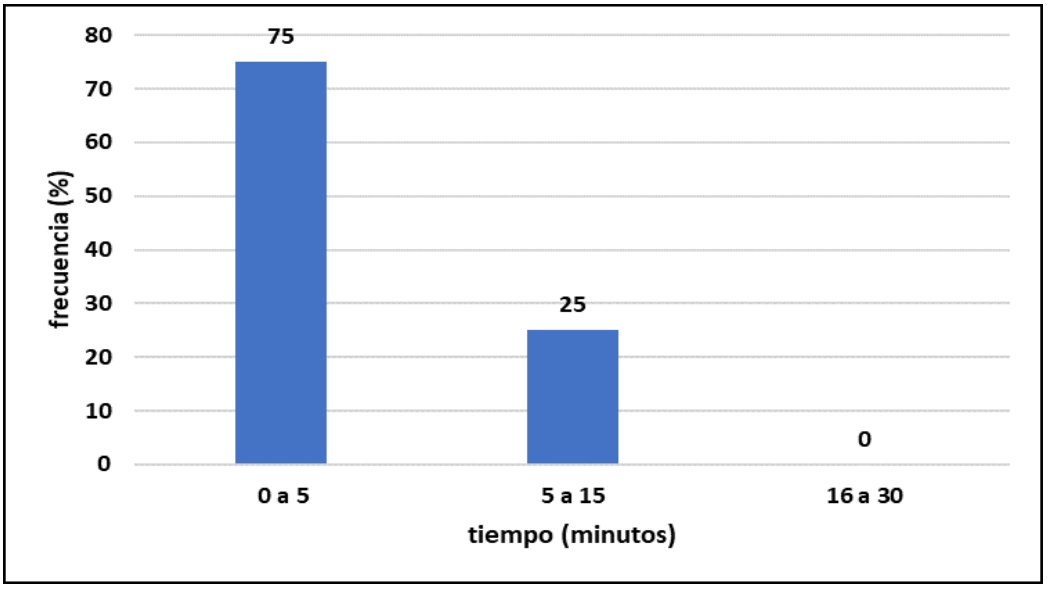
Figura 4.
Participación en intervención con humos densos



En la Figura 4 se observa que el 45 % (9 voluntarios del cuerpo de bomberos), participa frecuentemente en interviniendo en los incendios con humos densos, mientras que el 40% (8 voluntarios del cuerpo de bomberos), el 15% (3 voluntarios del cuerpo de bomberos) intervienen Muy frecuentemente y ocasionalmente respectivamente.

Figura 5.

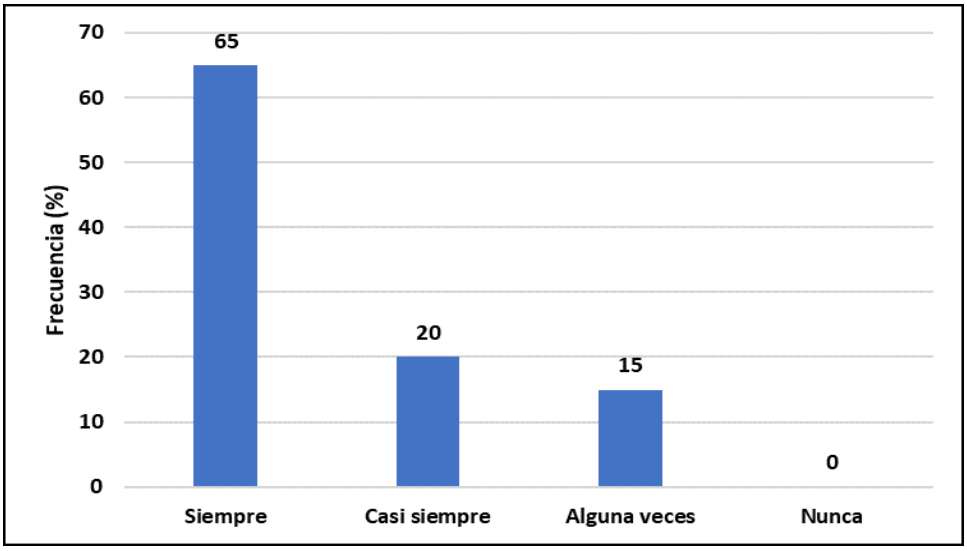
Tiempo de permanencia dentro del área afectada por el incendio



En la Figura 5 se observa que el 75% (15 voluntarios del cuerpo de bomberos) permanecen entren 0 a 5 min dentro del área afectada por el incendio, mientras que el 25% (5 voluntarios del cuerpo de bomberos) permanece entre 5 a15min dentro del área afectada.

Figura 6.

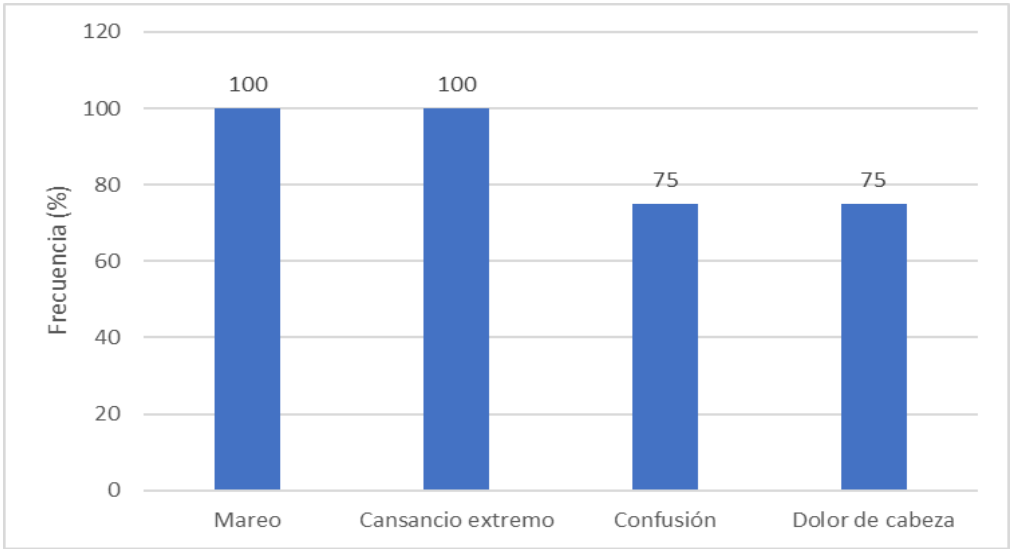
Uso de equipo de protección respiratoria en las intervenciones con humo



En la Figura 6 se observa que el 65% de voluntarios del cuerpo de bomberos siempre usan sus equipos de protección respiratoria en las intervenciones con humo; mientras que el 20% y 15%, casi siempre y algunas veces usan sus equipos de protección respiratoria respectivamente.

Figura 7.

Síntomas compatibles con exposición a CO



En la Figura 7 se observa que el 100% de voluntarios del cuerpo de bomberos presentan síntomas de Mareo y cansancio extremo; mientras que el 75% presentan confusión y dolor de cabeza.

4.2. Niveles de carboxihemoglobina en sangre del personal del cuerpo de bomberos (UBO-B103 y UBO-B46 de la XII comandancia departamental de bomberos de Ucayali) después de la extinción de incendios

En la Tabla 2 se muestra que la compañía de bomberos UBO 46 presento una media de Carboxihemoglobina de 2.02% en donde del conjunto de datos hubo un máximo de 3.05% y un mínimo de 1.39%; asimismo la compañía de bomberos UBO 103 presento una media de Carboxihemoglobina de 1.92% en donde del conjunto de datos hubo un máximo de 2.46% y un mínimo de 1.53%; además se observa que la compañía UBO 46 presento mayor nivel de concentración que la compañía UBO 103. La media general de nivel de Carboxihemoglobina de la muestra es de 1.97%. Según los efectos fisiológicos en función de los rangos de concentración de COHb, los promedios obtenidos se sitúan en un nivel normal en personas sanas, sin efectos nocivos (<2).

Respecto a la dispersión de los valores, la desviación estándar fue de 0.48 en UBO 46 y 0.27 en UBO 103, lo que sugiere que en la primera compañía existe una variabilidad mayor entre los niveles individuales, mientras que en la segunda los valores son más homogéneos. De manera global, la desviación estándar total fue de 0.38, indicando una variabilidad moderada dentro del conjunto de participantes.

Tabla 3.

Nivel de carboxihemoglobina en la sangre del personal del cuerpo de bomberos en dos compañías en la ciudad de Pucallpa

Compañía	Número de personas	Estadísticos descriptivos del nivel Carboxihemoglobina (%)			
		Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
UBO 46	9	1.39	3.05	2.02	0.48
UBO 103	11	1.53	2.46	1.92	0.27
Total	20	1.46	2.76	1.97	0.38

4.3. Relación entre el nivel de COHb. edad y peso del personal del cuerpo de bomberos de UBO 103 y UBO 46 de la XII comandancia departamental de bomberos de Ucayali

4.3.1. Relación entre el nivel de COHb y el peso del personal del cuerpo de bomberos

La tabla 3 presenta los resultados del análisis de regresión lineal entre el peso corporal del personal del Cuerpo de Bomberos y los niveles de carboxihemoglobina (COHb) obtenidos en las evaluaciones del año 2023. Este análisis busca determinar si existe alguna relación estadísticamente significativa entre el peso de los bomberos y su nivel de exposición al monóxido de carbono.

El estadístico F calculado es 0.107 con una significancia (Sig) de 0.748. Este valor de significancia es muy superior al valor crítico habitual de 0.05, cual se concluye que no existe evidencia estadísticamente de que el peso corporal influya en los niveles de COHb del personal evaluado.

La Figura 8 muestra un gráfico de dispersión entre los niveles de COHb (%) y el peso corporal (kg) del personal de ambas compañías de bomberos. Visualmente, los puntos se encuentran dispersos sin formar un patrón claro, lo que sugiere la ausencia de una relación lineal fuerte entre ambas variables.

La línea punteada representa la recta de regresión lineal ajustada, cuya ecuación es:

$$y = 0.01x + 1.2546$$

Esto indica que, teóricamente, por cada incremento de un kilogramo en el peso, el nivel de COHb aumentaría solo en 0.01%, un valor extremadamente pequeño y sin relevancia práctica.

El coeficiente de determinación $R^2 = 0.0541$ señala que el peso corporal explica apenas el 5.41% de la variabilidad de los niveles de COHb, lo cual es insuficiente para considerar que exista una relación significativa entre ambas variables.

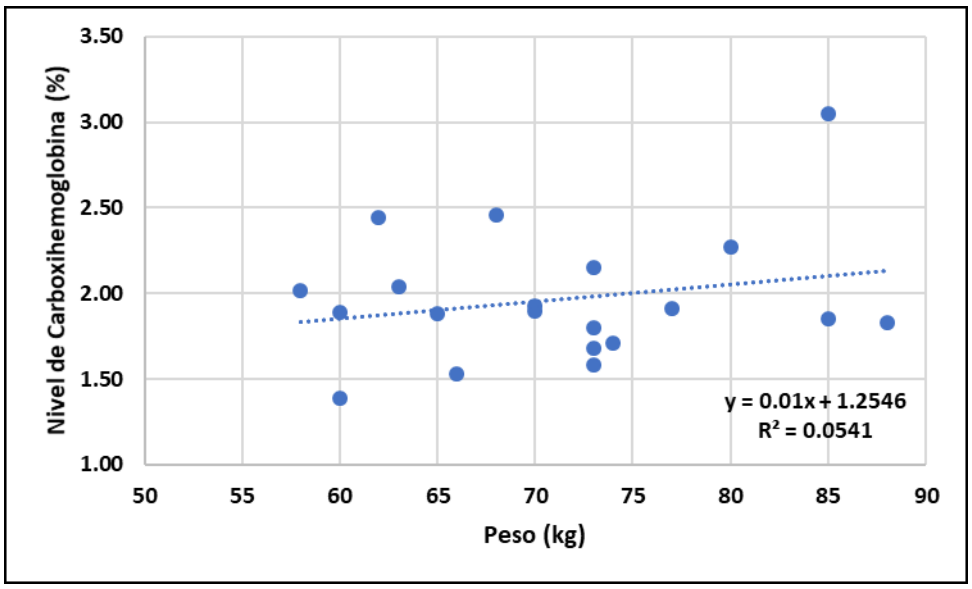
Tabla 4.

Análisis de regresión entre el peso del personal del cuerpo de bomberos y el nivel de COHb

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0.016	1	0.016	0.107	0.748
Residuo	2.662	18	0.148		
Total	2.678	19			

Figura 8.

Dispersión puntos de los niveles de COHb y el peso de las personas de la compañía de bomberos



4.3.2. Relación entre el nivel de COHb y la edad del personal del cuerpo de bomberos

La Tabla 4 presenta el análisis de regresión lineal realizado para determinar si existe relación estadísticamente significativa entre la edad del personal del Cuerpo de Bomberos y los niveles de carboxihemoglobina (COHb). Este análisis busca identificar si la edad podría influir en la susceptibilidad o acumulación de CO en sangre.

El estadístico F obtenido es 0.853, con un valor de significancia (Sig) de 0.368. Dado que la significancia es mayor a 0.05, se concluye que no existe relación estadísticamente entre la edad del personal y los niveles de COHb.

La Figura 9 muestra un gráfico de dispersión entre los valores de COHb (%) y la edad (años) de los bomberos evaluados. Los puntos del gráfico se observan dispersos sin formar una tendencia clara, lo cual visualmente confirma una relación débil entre ambas variables.

La línea de tendencia representada en el gráfico corresponde a la ecuación:

$$y = 0.0193x + 1.408$$

Esta ecuación indica que, por cada año de incremento en la edad, el nivel de COHb aumentaría en apenas 0.0193%, un cambio mínimo y sin relevancia práctica en un contexto ocupacional.

El coeficiente de determinación $R^2 = 0.0525$ señala que la edad explica únicamente el 5.25% de la variabilidad de los niveles de COHb, lo cual es insuficiente para considerar que exista un vínculo significativo entre ambas variables.

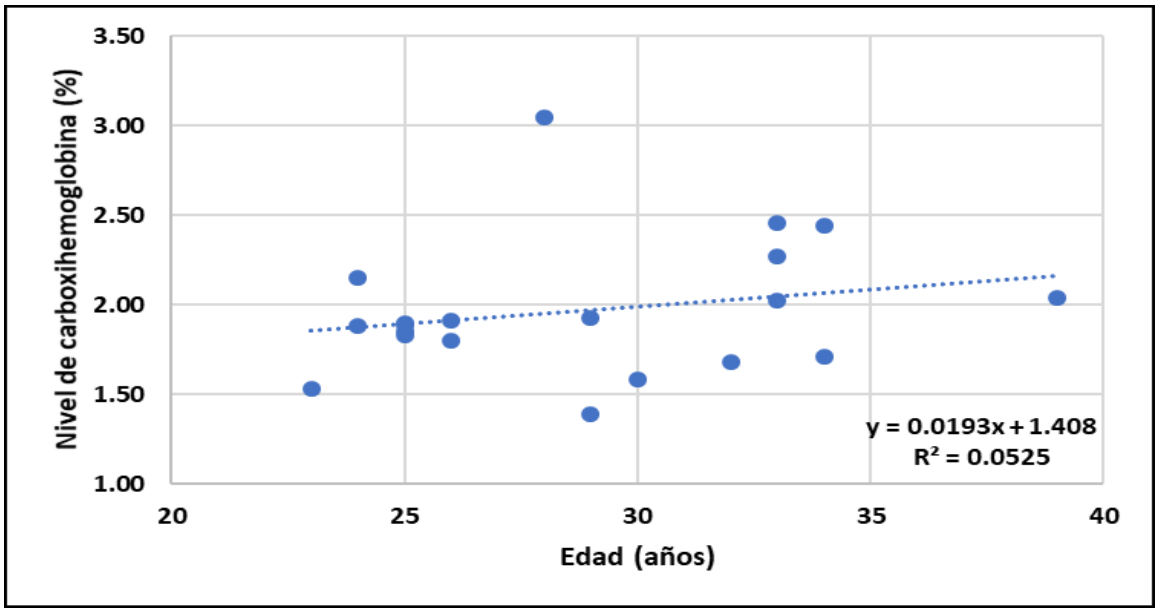
Tabla 5.

Análisis de regresión entre la edad del personal del cuerpo de bomberos y el nivel de COHb

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0.121	1	0.121	0.853	0.368
Residuo	2.557	18	0.142		
Total	2.678	19			

Figura 9.

Dispersión de puntos de los niveles de COHb y la edad de las personas de dos compañías de bomberos



4.4. Discusión

La presente investigación ha evidenciado que no existe una relación significativa entre las características personales del personal de bomberos como la edad y el peso y los niveles de carboxihemoglobina (COHb) encontrados en sangre durante sus labores operativas. Los resultados muestran que, si bien los bomberos presentan niveles de COHb superiores al promedio de la población general no expuesta (≈0–1%), estos valores no dependen de variables individuales, sino más bien de factores ocupacionales y ambientales propios de la actividad bomberil.

Estudios previos también coinciden en que la exposición al monóxido de carbono (CO) en personal de emergencia es más influenciada por la intensidad de las intervenciones, la duración del contacto con el humo y el uso adecuado del equipo de protección respiratoria, antes que por características antropométricas (Burgess et al., 2001; Dudziński et al., 2024). Esto concuerda con lo observado en el presente análisis, donde los valores de significancia obtenidos ($p > 0.05$) indican la ausencia de correlación entre edad o peso y el nivel de COHb.

La Tabla 3 correspondiente al análisis entre peso y COHb mostró que no existe relación estadísticamente significativa (p = 0.748), lo cual sugiere que el peso corporal no determina la acumulación de carboxihemoglobina en sangre. Este resultado coincide con investigaciones donde se concluye que las variables fisiológicas como el índice de masa corporal tampoco influyen de manera directa en la susceptibilidad a intoxicación por CO; por el contrario, la exposición depende principalmente del tipo de incendio, el funcionamiento del equipo de respiración autónoma y el tiempo de permanencia en zonas con humo (Fabian et al., 2014; Caux et al., 2002). En esa misma línea, la Figura 8 muestra una tendencia muy dispersa, lo que reafirma que el peso no contribuye de forma relevante a explicar la variabilidad del COHb en este grupo de bomberos.

De forma similar, los resultados de la tabla de regresión entre la edad y el nivel de COHb indicaron nuevamente la ausencia de relación significativa (p = 0.368). Este hallazgo es consistente con estudios previos donde se ha identificado que la edad por sí sola no aumenta el riesgo de absorción de CO, siempre que los bomberos mantengan condiciones operativas similares (Bolstad et al., 2000). La literatura señala que las diferencias en exposición suelen deberse a la experiencia en intervenciones, la frecuencia con la que participan en incendios y el cumplimiento de protocolos de seguridad, más que la edad como factor biológico. La Figura 4 refuerza esta interpretación, ya que la dispersión amplia de los datos evidencia que no existe una tendencia clara entre ambas variables.

Los niveles de COHb encontrados en esta investigación con un promedio cercano al 2% y valores máximos superiores al 3% guardan coherencia con estudios internacionales realizados en bomberos expuestos a humo durante maniobras reales. Investigaciones en Estados Unidos, Australia y Canadá reportan promedios de COHb entre 1% y 5% en personal expuesto sin protección respiratoria constante (Baxter et al., 2014), lo que coincide con los valores observados en Ucayali. Sin embargo, al igual que en la literatura, las diferencias entre compañías (como la mayor desviación estándar en UBO 46) pueden explicarse por variaciones operativas, disponibilidad de equipos, diferencias en entrenamiento, y cumplimiento del uso del SCBA durante la fase de overhaul, la cual es conocida por presentar altos niveles de CO residual.

Finalmente, al igual que en estudios sobre otras exposiciones ocupacionales, los hallazgos del presente trabajo sugieren que la variabilidad en los niveles de COHb no está determinada por factores personales, sino por aspectos propios de la actividad operacional. Investigaciones como las de Fabian et al., (2014) destacan que el riesgo aumenta particularmente durante tareas prolongadas en espacios confinados, en incendios estructurales y en operaciones de remoción de escombros sin ventilación adecuada. Por tanto, los resultados encontrados en Ucayali refuerzan la idea de que la exposición al CO en bomberos está más asociada a comportamientos operativos, cumplimiento del uso del SCBA, condiciones del entorno y frecuencia de intervención, más que a características de edad o peso.

CONCLUSIONES

- La exposición al monóxido de carbono en el personal del Cuerpo de Bomberos de las unidades UBO-B103 y UBO-B46 de la XII Comandancia Departamental de Bomberos de Ucayali está determinada principalmente por las condiciones de servicio y operatividad durante las intervenciones, evidenciándose niveles de carboxihemoglobina que indican una exposición real y variable, mientras que factores individuales como la edad y el peso no presentan una influencia significativa, lo que resalta la necesidad de fortalecer las medidas de prevención y control del riesgo en el ámbito operativo.

- El análisis muestra que las condiciones de servicio fueron los factores más determinantes en la exposición al monóxido de carbono del personal bomberil. Indicando que la exposición al CO no depende de características individuales, sino de aspectos operativos y del cumplimiento de los protocolos de seguridad, cual requiere fortalecer las medidas preventivas y mejorar la disponibilidad y uso del SCBA o EPRA.

- Los niveles de COHb posteriores a las intervenciones indican una exposición moderada, con una media de 1.97%, pero con valores máximos hasta 3.05%, superando el umbral de riesgo señalado por organismos internacionales. La mayoría se ubica en rangos normales, la presencia de valores elevados evidencia que la exposición al monóxido de carbono es real y variable entre compañías, cual hace necesario implementar monitoreos periódicos, reforzar las prácticas operativas durante y después de la extinción del incendio.

- La edad y el peso del personal no presentan una relación significativa con los niveles de COHb, explicando menos del 6% de su variabilidad. Afirmando que los niveles de exposición al monóxido de carbono son por condiciones de servicio y operatividad en el campo. En prevención a ello las estrategias de protección deben de centrarse en a la gestión del riesgo operativo.

RECOMENDACIONES

- Fortalecer el uso obligatorio del equipo de respiración autónoma (SCBA) en todas las fases de intervención, especialmente durante el overhaul, donde los niveles de CO permanecen elevados pese a la aparente ausencia de humo visible.

- Implementar un programa permanente de monitoreo de COHb mediante mediciones periódicas antes y después de intervenciones operativas, con el fin de identificar tendencias de exposición crónica y casos de riesgo.

- Desarrollar capacitaciones continuas en identificación de peligros asociados al humo, manejo del SCBA, reconocimiento de síntomas tempranos de exposición a CO y protocolos de actuación segura.

- Optimizar la disponibilidad y mantenimiento de equipos de respiración, garantizando que todas las compañías cuenten con SCBA operativos y suficientes para cada brigadista.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abramov, A. Y., Myers, I., & Angelova, P. R. (2024). Carbon Monoxide: A Pleiotropic Redox Regulator of Life and Death. *Antioxidants*, *13*(9), 1121. https://doi.org/10.3390/antiox13091121

Acosta Gómez, R. C. (2017). *Concentraciones de monóxido de carbono y su incidencia en la salud del personal que labora en el parqueadero del edificio principal del GAD Municipal de Ambato*. http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/25951

Adetona, O., Simpson, C. D., Onstad, G., & Naeher, L. P. (2013). Exposure of wildland firefighters to carbon monoxide, fine particles, and levoglucosan. *The Annals of Occupational Hygiene*, *57*(8), 979-991. https://doi.org/10.1093/annhyg/met024

Ampuero Bernabe, D. E., & De La Cruz Mendoza, A. J. (2022). Determinación de la exposición por monóxido de carbono en las personas – distrito de Ate – Lima. *Repositorio Institucional - UCV*. https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/104602

ATSDR. (2018, diciembre 31). *Exposición a sustancias químicas | ATSDR en Español*. https://www.atsdr.cdc.gov/es/com/es_exposure.html

Baxter, C. S., Hoffman, J. D., Knipp, M. J., Reponen, T., & Haynes, E. N. (2014). Exposure of firefighters to particulates and polycyclic aromatic hydrocarbons. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, *11*(7), D85-91. https://doi.org/10.1080/15459624.2014.890286

Bermeo Quimís, R. V., & Yungaicela Espinoza, G. D. (2017). *Evaluación del grado de exposición al monóxido de carbono mediante la medición de carboxihemoglobina en agentes de tránsito que laboran en las zonas sur y norte de Guayaquil Ecuador*. Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Químicas.

Bolaños Morera, P., & Chacón Araya, C. (2017). Intoxicacion por monoxido de carbono. *Medicina legal de Costa Rica*, *34*(1), 137-146.

Bolstad-Johnson, D. M., Burgess, J. L., Crutchfield, C. D., Storment, S., Gerkin, R., & Wilson, J. R. (2000). Characterization of firefighter exposures during fire overhaul. *AIHAJ: A Journal for the Science of Occupational and Environmental Health and Safety*, *61*(5), 636-641. https://doi.org/10.1080/15298660008984572

Burgess, J. L., Nanson, C. J., Bolstad-Johnson, D. M., Gerkin, R., Hysong, T. A., Lantz, R. C., Sherrill, D. L., Crutchfield, C. D., Quan, S. F., Bernard, A. M., & Witten, M. L. (2001). Adverse respiratory effects following overhaul in firefighters. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, *43*(5), 467-473. https://doi.org/10.1097/00043764-200105000-00007

Cadavid Mora, L. C. (2015). *MEDICIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CARBOXIHEMOGLOBINA EN 3 GRUPOS VULNERABLES EN LA CIUDAD DE QUITO* [Thesis, Universidad Internacional SEK]. https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/1529

Carballo Leyenda, B., Rodríguez-Marroyo, J. A., López-Satué, J., Ávila Ordás, C., Pernía Cubillo, R., & Villa Vicente, J. G. (2010). Exposición al monóxido de carbono del personal especialista en extinción de incendios forestales. *Revista Española de Salud Pública*, *84*(6), 799-807.

Caux, C., O'Brien, C., & Viau, C. (2002). Determination of firefighter exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and benzene during fire fighting using measurement of biological indicators. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, *17*(5), 379-386. https://doi.org/10.1080/10473220252864987

CCO. (2016). *Exposición de bomberas y bomberos a sustancias cancerígenas durante el trabajo – Salud Laboral Madrid*. https://www.saludlaboralmadrid.es/portfolio-item/exposicion-de-bomberas-y-bomberos-a-sustancias-cancerigenas-durante-el-trabajo/

Coburn, R. F. (2022). Carbon Monoxide (CO), Nitric Oxide, and Hydrogen Sulfide Signaling During Acute CO Poisoning. *Frontiers in Pharmacology*, *12*. https://doi.org/10.3389/fphar.2021.830241

Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. (2025). *Clasificación de los contaminantes del aire ambiente*. gob.mx. http://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/2-clasificacion-de-los-contaminantes-del-aire-ambiente

Departamento Técnico Academia Nacional de Bomberos de Chile. (2017). *El monóxido de carbono:una amenaza invisible*. https://www.anb.cl/documentos_sitio/90109_Monoxido.pdf

Dudziński, Ł., Bihałowicz, J. S., Czyżewski, Ł., Kasperczyk, R., & Kubiak, T. (2024). Exposure of firefighters to carbon monoxide during rescue and fire fighting interventions—A 6-year analysis. *Acta Neuropsychologica*, *22(1)*(null), 81-93.

Enríquez-Coronel, G., & Cabrera-Espinosa, E. S. (2015). Secuelas neuropsiquiátricas por intoxicación por monóxido de carbono: Reporte de un caso clínico y revisión de la literatura. *Revista Mexicana de Neurociencia*. https://previous.revmexneurociencia.com/articulo/secuelas-neuropsiquiatricas-por-intoxicacion-por-monoxido-de-carbono-reporte-de-caso-clinico-revision-de-la-literatura/

EPA. (2016, marzo 7). *Carbon Monoxide (CO) Pollution in Outdoor Air* [Collections and Lists]. https://www.epa.gov/co-pollution

Fabian, T. Z., Borgerson, J. L., Gandhi, P. D., Baxter, C. S., Ross, C. S., Lockey, J. E., & Dalton, J. M. (2014). Characterization of Firefighter Smoke Exposure. *Fire Technology*, *50*(4), 993-1019. https://doi.org/10.1007/s10694-011-0212-2

Figueredo, N. R. (2019). Comportamiento de los niveles de carboxihemoglobina en un grupo de trabajadores informales de la ciudad de San Lorenzo. *Reportes Científicos de la FACEN*, *10*(2), 101-111.

Finlayson-Pitts, B. J., & Pitts Jr, J. N. (1999). *Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere: Theory, Experiments, and Applications*. Elsevier.

Gobierno del Perú. (s. f.). *Cuerpo General de Bomberos Voluntarios del Peru*. Recuperado 21 de noviembre de 2025, de https://www.bomberosperu.gob.pe/portal/net_normas_ley_27067.aspx

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*. https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.01326

Indeed. (2025). *Qué hace un bombero*. Guía profesional de Indeed. https://mx.indeed.com/orientacion-profesional/como-encontrar-empleo/hace-bombero

Jankovic, J., Jones, W., Burkhart, J., & Noonan, G. (1991). Environmental study of firefighters. *The Annals of Occupational Hygiene*, *35*(6), 581-602. https://doi.org/10.1093/annhyg/35.6.581

Vargas Cordero, Z. (2009). *Articulo Investigación APLICADA*. Redalyc.com. https: https://www.redalyc.org/pdf/440/44015082010.pdf

Mallqui Venturo, R. (2020). *Determinación de niveles de carboxihemoglobina en policías de tránsito de la ciudad de Huancayo, 2019*. https://hdl.handle.net/20.500.12672/15967

Medlineplus. (2025). *Derivados de la hemoglobina: MedlinePlus enciclopedia médica*. https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/003371.htm

Navarro, K. M., Kleinman, M. T., Mackay, C. E., Reinhardt, T. E., Balmes, J. R., Broyles, G. A., Ottmar, R. D., Naher, L. P., & Domitrovich, J. W. (2019). Wildland firefighter smoke exposure and risk of lung cancer and cardiovascular disease mortality. *Environmental Research*, *173*, 462-468. https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.03.060

Núñez Naranjo, R. R. (2015). Determinación de los niveles de carboxihemoglobina y repercusión en la salud de los trabajadores del botadero municipal de la ciudad de Ambato [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio UTA. https://repositorio.uta.edu.ec/items/76a02398-545e-462c-a2c5-06b62debc296.

OMM. (2021, octubre 31). *Estado del clima en 2021: Los fenómenos extremos y sus principales repercusiones*. Organización Meteorológica Mundial. https://wmo.int/es/media/estado-del-clima-en-2021-los-fenomenos-extremos-y-sus-principales-repercusiones

OMM. (2022, mayo 9). *La Organización Meteorológica Mundial cifra en un 50 % la probabilidad de que en los próximos cinco años la temperatura mundial supere transitoriamente en 1,5 °C los valores preindustriales*. Organización Meteorológica Mundial. https://wmo.int/es/news/media-centre/la-organizacion-meteorologica-mundial-cifra-en-un-50-la-probabilidad-de-que-en-los-proximos-cinco

OMS (Ed.). (2005). *Health effects of transport-related air pollution*. World Health Organization Europe.

ONU. (2022, febrero 22). *Spreading like Wildfire: The Rising Threat of Extraordinary Landscape Fires | UNEP - UN Environment Programme*. https://www.unep.org/resources/report/spreading-wildfire-rising-threat-extraordinary-landscape-fires

Penney, D., Benignus, V., Kephalopoulos, S., Kotzias, D., Kleinman, M., & Verrier, A. (2010). Carbon monoxide. En *WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants*. World Health Organization. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK138710/

Reyes Valdivia, W. J. L. (2017). *Determinación de los Niveles de Carboxihemoglobina en los Conductores de Transporte Público de la Ciudad de Arequipa*. https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/6519

Rosas, R., Ochoa, A., Morillo, D., García, N., & Andrade, S. (2015). *Exposición a monóxido de carbono en trabajadores de control vehicular-Cuenca: Estudio exploratorio*. http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23887

Rose, J. J., Wang, L., Xu, Q., McTiernan, C. F., Shiva, S., Tejero, J., & Gladwin, M. T. (2017). Carbon Monoxide Poisoning: Pathogenesis, Management, and Future Directions of Therapy. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, *195*(5), 596-606. https://doi.org/10.1164/rccm.201606-1275CI

Sagripanti, J.-L., & Lytle, C. D. (2020). Estimated Inactivation of Coronaviruses by Solar Radiation With Special Reference to COVID-19. *Photochemistry and Photobiology*, *96*(4), 731-737. https://doi.org/10.1111/php.13293

Sammons, J. H., & Coleman, R. L. (1974). Firefighters' occupational exposure to carbon monoxide. *Journal of Occupational Medicine.: Official Publication of the Industrial Medical Association*, *16*(8), 543-546.

Sebastião, R., Sorte, S., Fernandes, J. M., & Miranda, A. I. (2021). Classification of Critical Levels of CO Exposure of Firefigthers through Monitored Heart Rate. *Sensors*, *21*(5), 1561. https://doi.org/10.3390/s21051561

Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2016). *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. John Wiley & Sons.

Thom, S. R. (2011). Hyperbaric oxygen – its mechanisms and efficacy. *Plastic and reconstructive surgery*, *127*(Suppl 1), 131S-141S. https://doi.org/10.1097/PRS.0b013e3181fbe2bf

Torres Ordoñez, L. H., Arguello Pazmiño, A. M., Reyes Soriano, F. E., & Ortiz Novillo, C. R. (2021). Contaminación del aire y su influencia en la incidencia de enfermedades respiratorias en Santa Elena Ecuador 2020. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, *61*(2), 328-336. https://doi.org/10.52808/bmsa.7e5.612.023

Tortorella, M. N., Laborde, A., Tortorella, M. N., & Laborde, A. (2021). Escenarios de exposición a monóxido de carbono que orientan la sospecha clínica de intoxicación aguda. *Revista Médica del Uruguay*, *37*(2). https://doi.org/10.29193/rmu.37.2.4

Vedrenne, M., Borge, R., Lumbreras, J., Conlan, B., Rodríguez, M. E., de Andrés, J. M., de la Paz, D., Pérez, J., & Narros, A. (2015). An integrated assessment of two decades of air pollution policy making in Spain: Impacts, costs and improvements. *Science of The Total Environment*, *527-528*, 351-361. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.014

Weaver, L. K. (2009). Carbon Monoxide Poisoning. *New England Journal of Medicine*, *360*(12), 1217-1225. https://doi.org/10.1056/NEJMcp0808891

WHO. (2025). *Air pollution*. https://www.who.int/health-topics/air-pollution

ANEXOS

Anexo 01.

Extracción de muestra de sangre del personal del cuerpo de bombero UBO-B103



Anexo 02.

Extracción de muestra de sangre del personal del cuerpo de bombero UBO-B46



Anexo 03.

Compañía de bomberos *UBO-B103*



Anexo 04.

Compañía de bomberos UBO-B46



Anexo 05. Uniformes de protección contra incendios

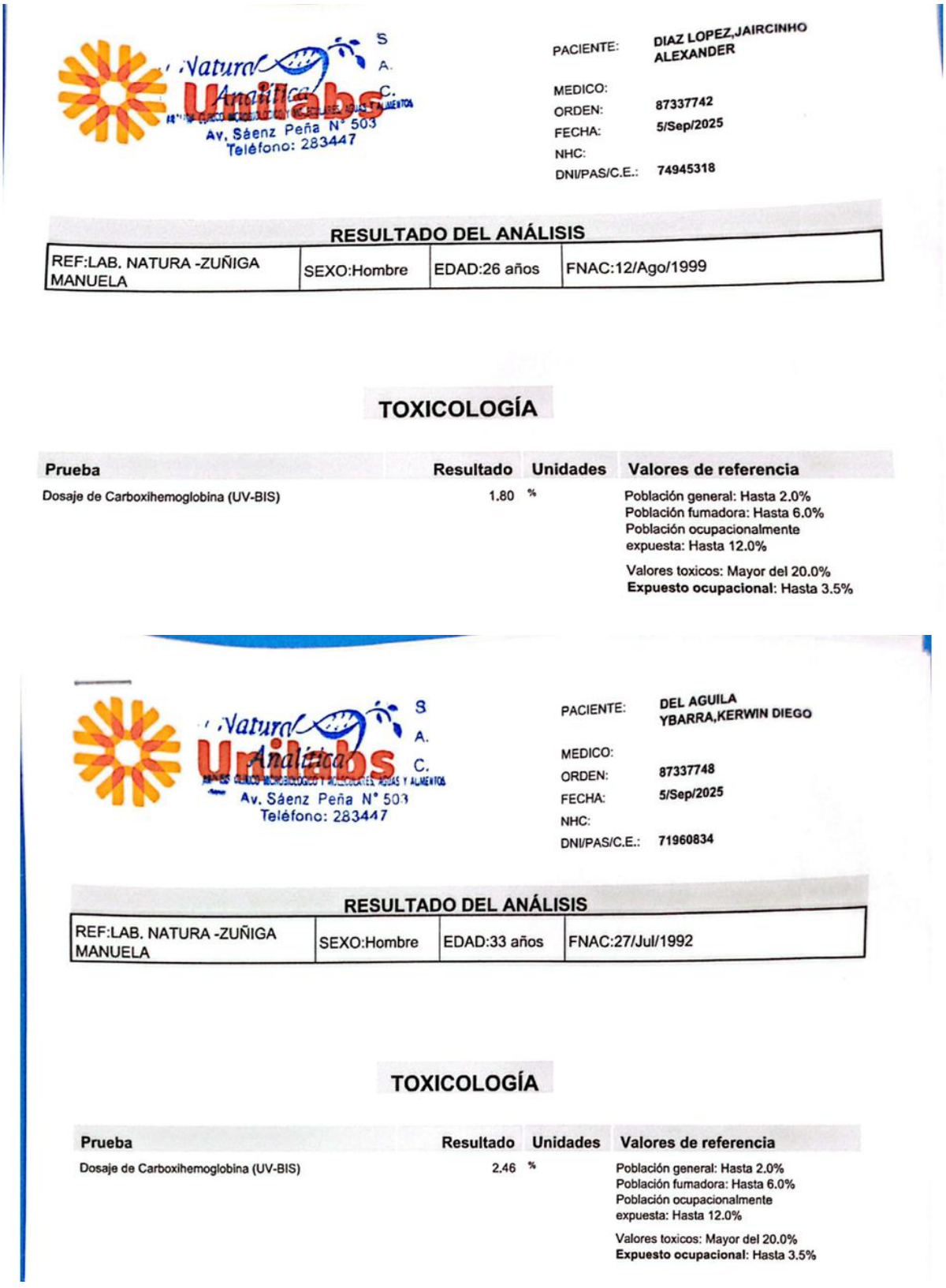


Anexo 06.

Camión de Bomberos



Anexo 07. Resultados de pruebas de carboxihemoglobina – UBO 103



Natura Unilabs Analítica S.A.C.
Av. Sáenz Peña N° 503
Teléfono: 283447

PACIENTE: DIAZ LOPEZ,JAIRCINHO ALEXANDER
MEDICO:
ORDEN: 87337742
FECHA: 5/Sep/2025
NHC:
DNI/PAS/C.E.: 74945318

RESULTADO DEL ANÁLISIS

REF:LAB. NATURA -ZUÑIGA MANUELA	SEXO:Hombre	EDAD:26 años	FNAC:12/Ago/1999

TOXICOLOGÍA

Prueba	Resultado	Unidades	Valores de referencia
Dosaje de Carboxihemoglobina (UV-BIS)	1.80	%	Población general: Hasta 2.0% Población fumadora: Hasta 6.0% Población ocupacionalmente expuesta: Hasta 12.0% Valores toxicos: Mayor del 20.0% **Expuesto ocupacional**: Hasta 3.5%

Natura Unilabs Analítica S.A.C.
Av. Sáenz Peña N° 503
Teléfono: 283447

PACIENTE: DEL AGUILA YBARRA,KERWIN DIEGO
MEDICO:
ORDEN: 87337748
FECHA: 5/Sep/2025
NHC:
DNI/PAS/C.E.: 71960834

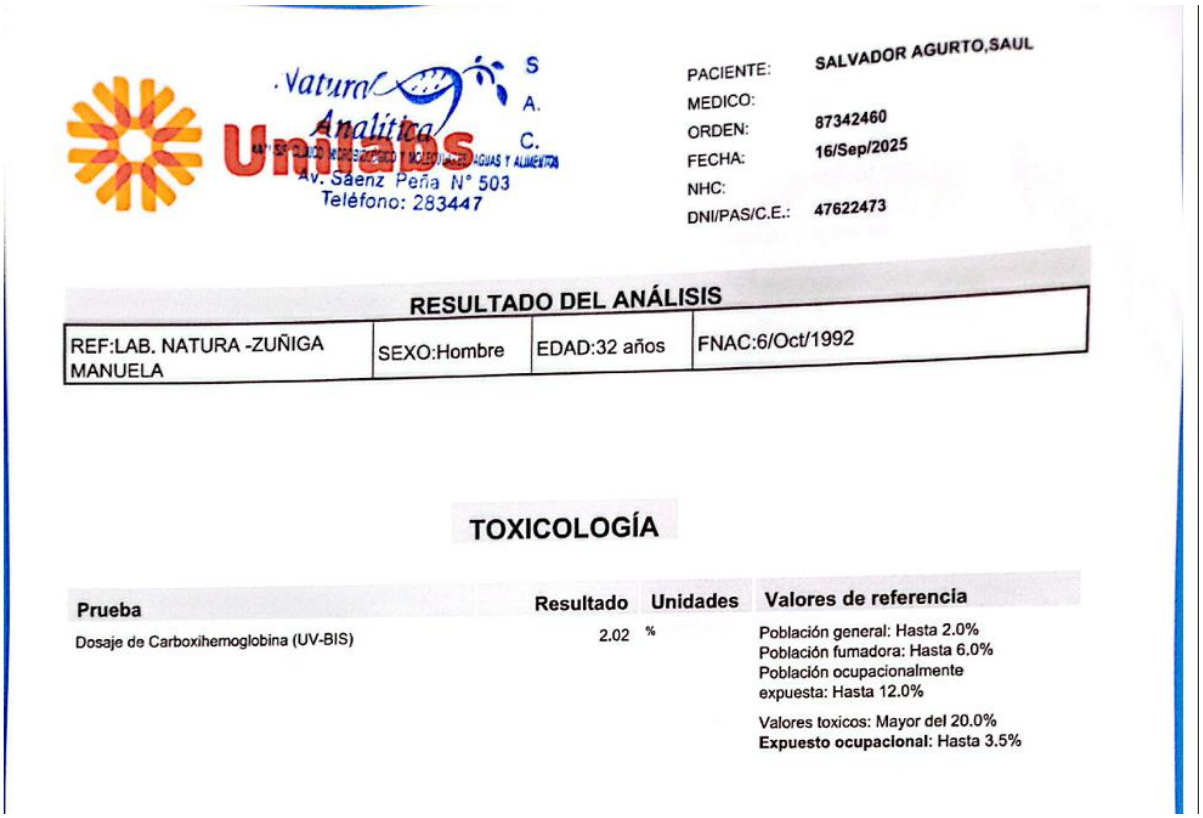
RESULTADO DEL ANÁLISIS

REF:LAB. NATURA -ZUÑIGA MANUELA	SEXO:Hombre	EDAD:33 años	FNAC:27/Jul/1992

TOXICOLOGÍA

Prueba	Resultado	Unidades	Valores de referencia
Dosaje de Carboxihemoglobina (UV-BIS)	2.46	%	Población general: Hasta 2.0% Población fumadora: Hasta 6.0% Población ocupacionalmente expuesta: Hasta 12.0% Valores toxicos: Mayor del 20.0% **Expuesto ocupacional**: Hasta 3.5%

Anexo 08. Resultados de pruebas de carboxihemoglobina – UBO 46



Natura Analítica S.A.C.
Unilabs
Av. Sáenz Peña N° 503
Teléfono: 283447

PACIENTE: SALVADOR AGURTO,SAUL
MEDICO:
ORDEN: 87342460
FECHA: 16/Sep/2025
NHC:
DNI/PAS/C.E.: 47622473

RESULTADO DEL ANÁLISIS

REF:LAB. NATURA -ZUÑIGA MANUELA	SEXO:Hombre	EDAD:32 años	FNAC:6/Oct/1992

TOXICOLOGÍA

Prueba	Resultado	Unidades	Valores de referencia
Dosaje de Carboxihemoglobina (UV-BIS)	2.02	%	Población general: Hasta 2.0% Población fumadora: Hasta 6.0% Población ocupacionalmente expuesta: Hasta 12.0% Valores toxicos: Mayor del 20.0% **Expuesto ocupacional**: Hasta 3.5%



Natura Analítica S.A.C.
Unilabs
Av. Sáenz Peña N° 503
Teléfono: 283447

PACIENTE: BONILLA AMARINGO,JAROL SELENE
MEDICO:
ORDEN: 87337763
FECHA: 5/Sep/2025
NHC:
DNI/PAS/C.E.: 47322883

RESULTADO DEL ANÁLISIS

REF:LAB. NATURA -ZUÑIGA MANUELA	SEXO:Hombre	EDAD:34 años	FNAC:22/Dic/1990

TOXICOLOGÍA

Prueba	Resultado	Unidades	Valores de referencia
Dosaje de Carboxihemoglobina (UV-BIS)	2.44	%	Población general: Hasta 2.0% Población fumadora: Hasta 6.0% Población ocupacionalmente expuesta: Hasta 12.0% Valores toxicos: Mayor del 20.0% **Expuesto ocupacional**: Hasta 3.5%

Anexo 09. Carné general de bombero voluntarios del Perú



