



Protocolo de seguridad de buceo táctico de rescate y extracción de víctimas en lagos y lagunas de altitud por el Cuerpo de Bomberos Ibarra.

Tactical diving safety protocol for rescue and extraction of victims in high altitude lakes and lagoons by the Ibarra fire department

Víctor Arroyo¹ 

carlosleonidas12@gmail.com

Instituto Tecnológico Superior Universitario Oriente (ITSO)

Riobamba, Ecuador

Benjamín Gabriel Quito Cortez² 

benjaminquito@bqc.com.ec

Instituto Tecnológico Superior Universitario Oriente (ITSO)

Riobamba, Ecuador

Daniela Fernanda Vásconez Duchicela³ 

danielavasconez@bqc.com.ec

Instituto Tecnológico Superior Universitario Oriente (ITSO)

Riobamba, Ecuador

Recepción: 06-11-2024

Aceptación: 16-06-2025

Publicación: 29-07-2025

Como citar este artículo: Arroyo, V; Quito, B; Vásconez, D. (2025). **Protocolo de seguridad de buceo táctico de rescate y extracción de víctimas en lagos y lagunas de altitud por el Cuerpo de Bomberos Ibarra.** Metrópolis. Revista de Estudios Globales Universitarios, 6 (1), pp. 937-978.

¹ Tecnólogo en seguridad y salud ocupacional. Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO); Maestrante en Herramientas de Seguridad Industrial y Salud en el Trabajo. (ITSO).

² Abogado, Magister en Educación (Universidad Bicentennial de Aragua) Venezuela, Magister en Ciencias Gerenciales (Universidad internacional del caribe y América latina) Curacao, Doctor en Ciencias de la Educación PHD (UBA) Venezuela, Doctor en Ciencias Gerenciales PHD (universidad internacional del caribe y América latina) Curacao, Postdoctorado en Ciencias de la Educación (UBA) Venezuela.

³ Ingeniera Mecánica mención Automotriz (Universidad Tecnológica América), Magister en Talento Humano (Universidad Internacional SEK), Magister en Administración de Empresas (Universidad Internacional del Ecuador), Doctor en Ciencias de la Educación PHD por la Universidad Bicentennial de Aragua, Venezuela



Resumen

El presente trabajo tiene como finalidad desarrollar un protocolo de seguridad para el buceo táctico de rescate y extracción de víctimas en lagos y lagunas de altitud, adaptado a las necesidades operativas del Cuerpo de Bomberos de Ibarra. Dado que los entornos acuáticos de altura presentan desafíos únicos, como bajas temperaturas, disminución de la presión parcial de oxígeno y visibilidad, es crucial establecer lineamientos específicos que minimicen los riesgos y optimicen la efectividad de las operaciones de rescate. Para ello, se llevó a cabo un análisis de los procedimientos actuales, identificando brechas y oportunidades de mejora en base a estándares internacionales y experiencias operativas previas. Por consiguiente, se empleó una metodología cuantitativa, misma que incluyó la revisión de literatura científica, análisis de datos, entrevistas a rescatistas especializados y pruebas de campo en escenarios reales. Como resultados se obtuvo la formulación de un protocolo detallado que contemple medidas preventivas, equipamiento adecuado, estrategias de intervención y formación especializada para el personal operativo que analice los principios fundamentales de la seguridad en el buceo, identificando los riesgos más comunes proponiendo protocolos basados en estándares internacionales para garantizar una práctica segura, confiable, profesional y responsable. El presente estudio de investigación buscó fortalecer la capacidad de respuesta del Cuerpo de Bomberos de Ibarra ante emergencias en cuerpos de agua de altitud, asegurando la protección de las víctimas como del equipo de rescate. La implementación del protocolo contribuyó a mejorar la seguridad, reducir el tiempo de respuesta y aumentar la eficiencia en situaciones de alto riesgo. **Palabras claves:** buceo táctico, rescate acuático, seguridad operacional, lagos de altitud, protocolos de emergencia.

Abstract

The purpose of this paper is to develop a safety protocol for tactical diving for rescue and victim extraction in high-altitude lakes and lagoons, adapted to the operational needs of the Ibarra Fire Department. Since high-altitude aquatic environments present unique challenges, such as low temperatures, decreased oxygen partial pressure, and visibility, it is crucial to establish specific guidelines that minimize risks and optimize the effectiveness of rescue operations. To this end, an analysis of current procedures was conducted, identifying gaps and opportunities for improvement based on international standards and previous operational experience. Consequently, a qualitative methodology was employed, which included a review of scientific literature, data analysis, interviews with specialized rescuers, and field tests in real-life scenarios. The results were the development of a detailed protocol that includes preventive measures, appropriate equipment, intervention strategies, and specialized training for operational personnel. This protocol analyzes the fundamental principles of diving safety, identifies the most common risks, and proposes protocols based on international standards to ensure safe, reliable, professional, and responsible diving practices. This research study sought to strengthen the Ibarra Fire Department's response capacity to emergencies involving high-altitude bodies of water, ensuring the protection of both victims and rescuers. The implementation of the protocol contributed to improved safety, reduced response times, and increased efficiency in high-risk situations. Underwater rescues require a structured approach based on hazard identification, risk mitigation, and real-time decision-making. Applying this theory to tactical diving allows for the development of safe and effective intervention strategies, reducing the likelihood operations. **Keywords:** tactical diving, water rescue, operational safety, high altitude lakes, emergency protocols.



Introducción.

El rescate acuático en lagos y lagunas de altitud representa un desafío complejo debido a las condiciones ambientales extremas que pueden comprometer tanto la seguridad del personal de rescate como la efectividad de las operaciones. La reducción de la presión atmosférica, la baja temperatura del agua y la visibilidad limitada generan un entorno de trabajo que exige protocolos de seguridad adaptados a estas circunstancias. A pesar de los avances en técnicas de buceo táctico, se ha identificado que muchas instituciones de respuesta ante emergencias carecen de procedimientos específicos para este tipo de intervenciones, lo que incrementa el riesgo de accidentes y reduce la eficiencia operativa (Lippmann, 2021).

En el caso del Cuerpo de Bomberos de Ibarra, CBI, se ha evidenciado la necesidad de un protocolo especializado que establezca lineamientos claros para el buceo táctico de rescate y la extracción de víctimas en entornos de altitud. Actualmente, las normativas utilizadas se basan en estándares generales de rescate acuático, sin considerar las particularidades fisiológicas y operativas. Bajo estas consideraciones se plantea un problema: ¿cómo desarrollar un protocolo de seguridad que garantice la efectividad y protección del personal de rescate en operaciones de buceo táctico en lagos y lagunas de altitud?

Para abordar esta problemática, el presente estudio tiene como objetivo diseñar un protocolo de seguridad basado en un análisis riguroso de los riesgos asociados, la revisión de estándares internacionales y la evaluación de experiencias previas en rescates de altura. La metodología empleada incluirá una investigación de enfoque cuantitativo, combinando revisión



bibliográfica, entrevistas a expertos. Se analizarán casos documentados de rescates en altitud y se identificarán las mejores prácticas para su implementación en el contexto del, CBI. (Elliott, 2020)

El estudio se desarrollará en varias fases. En primer lugar, se llevará a cabo una revisión documental para examinar protocolos existentes. Posteriormente, se realizarán entrevistas con rescatistas experimentados y personal de emergencia para recopilar información sobre desafíos y necesidades operativas. Finalmente, se analizará casos documentados, permitiendo la validación y ajuste del protocolo propuesto. La combinación de estas estrategias permitirá generar un documento normativo integral, que optimice la seguridad de los rescatistas y mejore la efectividad de las misiones de rescate acuático en altura.

La importancia de este estudio radica en su contribución a la profesionalización de las operaciones de rescate en entornos de difícil acceso, minimizando los riesgos y optimizando los tiempos de respuesta. Un protocolo de seguridad bien estructurado no solo protege la vida de las víctimas, sino que también salvaguarda la integridad del personal de rescate, garantizando intervenciones más seguras y eficientes. La implementación de este protocolo en el, CBI, fortalecerá su capacidad operativa y establecerá un precedente para el desarrollo de normativas especializadas en rescates acuáticos en altitud.

Marco Teórico.

El buceo táctico de rescate en lagos y lagunas de altitud es una disciplina que combina principios de seguridad, fisiología del buceo y técnicas de rescate en condiciones extremas. En estos entornos, factores como la presión atmosférica reducida, las bajas temperaturas y la visibilidad



limitada exigen protocolos especializados para garantizar la seguridad del personal de rescate y la efectividad de las operaciones.

En el marco de la base conceptual el buceo táctico de rescate es una modalidad de intervención subacuática enfocada en la búsqueda y extracción de víctimas en escenarios de emergencia, caracterizado por condiciones adversas, la necesidad de un alto nivel de coordinación operativa y la aplicación de la ley de los gases: Ley de Boyle, Ley de Dalton, Ley de Henry y el Principio de Arquímedes (Elliott, Pollock y Uguccioni, 2020). A diferencia del buceo recreativo o científico, el buceo táctico requiere protocolos estrictos para minimizar riesgos y optimizar la capacidad de respuesta en situaciones de alto estrés.

En el caso de los lagos y lagunas de altitud, la práctica del buceo enfrenta desafíos específicos. A medida que aumenta la altitud, la presión atmosférica disminuye, afectando la absorción de gases en el cuerpo del buzo y modificando la relación entre profundidad y presión en comparación con el nivel del mar (Mitchell y Doolette, 2022). Esta condición puede aumentar el riesgo de enfermedades disbáricas, como la enfermedad por descompresión, afectando el rendimiento físico y cognitivo.

La extracción de víctimas implica procedimientos de búsqueda, recuperación y evacuación bajo condiciones que limitan la visibilidad y la movilidad. En aguas frías, la hipotermia puede afectar tanto a las víctimas como a los rescatistas. Por ello, es esencial contar con equipos adecuados, como trajes secos, sistemas de flotabilidad controlada y técnicas específicas de comunicación y coordinación subacuática (Lippmann, Taylor y Mitchell, 2021).



Como la base legal se establece que el desarrollo de un protocolo de seguridad para el buceo táctico de rescate debe alinearse con normativas nacionales e internacionales que regulan las operaciones de búsqueda y salvamento en entornos acuáticos. En Ecuador, el marco legal aplicable está determinado por varias normativas que establecen la responsabilidad de las entidades de emergencia en la protección de la vida humana.

La Ley de Defensa Contra Incendios (Ley No. 2008-08) establece que los cuerpos de bomberos tienen la obligación de desarrollar procedimientos para la prevención y respuesta ante emergencias, incluyendo aquellas en entornos acuáticos. Además, la Normativa Técnica de Gestión del Riesgo emitida por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, SNGRE, establece lineamientos generales para la intervención en desastres y rescates especializados, lo que refuerza la necesidad de contar con procedimientos específicos adaptados a cada escenario operativo.

A nivel internacional, la Asociación de Buceo de Seguridad Pública (PSDA, siglas en inglés) y la Asociación Nacional de Instructores de Buceo, NAUI, han desarrollado estándares para el buceo de rescate, estableciendo criterios para la seguridad del personal, el uso de equipos y la planificación de operaciones en aguas con visibilidad reducida y temperaturas extremas (Elliott, 2020). Además, la Organización Internacional del Trabajo, OIT, y la Asociación Internacional de Buceo Técnico, TDI/SDI, han emitido directrices sobre la capacitación y certificación de buzos profesionales en entornos de riesgo.

La aproximación teórica del tema parte desde una perspectiva teórica, la investigación se fundamenta en varios enfoques que explican los riesgos y las estrategias de mitigación en el buceo táctico de rescate en altitud.



Uno de los marcos teóricos más relevantes es la teoría de la fisiología del buceo en altitud, que estudia los efectos de la presión reducida en el metabolismo humano. Según estudios de Mitchell y Doolette (2022), la disminución de la presión parcial de oxígeno en altitudes superiores a los 2.000 metros puede generar hipoxia, afectando el rendimiento de los rescatistas. Esta condición se ve agravada por la inmersión en aguas frías, donde la vasoconstricción y la pérdida de calor corporal pueden llevar a una reducción del tiempo efectivo de trabajo bajo el agua.

La importancia de la planificación, la evaluación situacional y la aplicación de protocolos de seguridad. De acuerdo con Lippmann (2021), los rescates subacuáticos requieren un enfoque estructurado basado en la identificación de peligros, la mitigación de riesgos y la toma de decisiones en tiempo real. La aplicación de esta teoría en el buceo táctico permite desarrollar estrategias de intervención seguras y efectivas, reduciendo la probabilidad de incidentes durante las operaciones de rescate.

La teoría del entrenamiento adaptativo sustenta la necesidad de capacitar al personal de rescate en condiciones realistas que simulen los desafíos de los entornos de altitud. Investigaciones de: Elliott (2020), sugieren que la exposición progresiva a escenarios controlados mejora la adaptación fisiológica y psicológica de los rescatistas, permitiéndoles optimizar su desempeño en situaciones reales. En este sentido, la implementación de simulaciones y ejercicios prácticos en lagos de altura es fundamental para validar la efectividad del protocolo de seguridad.

Estado del Arte



El buceo táctico de rescate requiere integrar conocimientos en fisiología del buceo, gestión del riesgo y procedimientos operativos en entornos acuáticos extremos, los desafíos asociados con la presión atmosférica reducida, las bajas temperaturas y la visibilidad limitada han sido objeto de estudio en diversas investigaciones y normativas internacionales. Este estado del arte analiza los aportes más relevantes sobre la seguridad en el buceo táctico de rescate, con énfasis en protocolos específicos para cuerpos de emergencia como el, CBI.

En la literatura científica, la seguridad en el buceo táctico de rescate ha sido abordada desde diversas perspectivas. Elliott, Pollock y Uguccione (2020) destacan que la mayoría de los accidentes en operaciones de rescate subacuático ocurren debido a la falta de protocolos adaptados a las condiciones específicas del entorno. En este sentido, proponen la necesidad de desarrollar procedimientos estandarizados que integren tanto la evaluación de riesgos como el entrenamiento especializado para buzos de rescate.

Lippmann, Taylor y Mitchell (2021) analizan las diferencias entre el buceo táctico de rescate y el buceo recreativo, señalando que las condiciones extremas de visibilidad reducida, temperaturas bajas y corrientes imprevistas requieren un enfoque diferenciado en cuanto a equipamiento y técnicas de inmersión. Según los autores, el uso de trajes secos, sistemas de flotabilidad avanzados y dispositivos de comunicación subacuática mejoran significativamente la seguridad de los rescatistas.

Desde una perspectiva más aplicada, estudios como los de Mitchell y Doolette (2022) han profundizado en los efectos fisiológicos del buceo en altitud, demostrando que la presión atmosférica reducida influye en la



absorción de gases y puede aumentar el riesgo de enfermedades disbáricas. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de adaptar las tablas de descompresión y los tiempos de inmersión para entornos de altitud, evitando así problemas como la hipoxia o la narcosis por nitrógeno.

A nivel internacional, diversas organizaciones han desarrollado normativas que regulan el buceo táctico de rescate. La Asociación de Buceo de Seguridad Pública, PSDA, establece estándares de seguridad para intervenciones subacuáticas en escenarios de emergencia, enfatizando la importancia de la planificación operativa y la formación continua del personal de rescate (PSDA, 2021).

La, NAUI, ha implementado directrices para el entrenamiento de buzos en entornos de riesgo, incluyendo procedimientos específicos para la búsqueda y recuperación de víctimas en aguas con visibilidad limitada y temperaturas extremas (NAUI, 2022). Estas normativas han servido como base para el desarrollo de programas de capacitación en cuerpos de bomberos y equipos de respuesta a emergencias en diferentes países.

La, SNGRE, establece lineamientos generales para la intervención en desastres y emergencias acuáticas, aunque no cuenta con protocolos específicos para el buceo táctico en lagos de altitud. Esta refuerza la necesidad de desarrollar un protocolo de seguridad adaptado a las condiciones del, CBI, considerando los desafíos propios de la geografía ecuatoriana y las características del personal.

Diferentes investigadores han resaltado la importancia de adaptar los protocolos de rescate a las condiciones específicas del entorno de intervención. Según Williamson (2021), los protocolos de buceo en altitud



deben considerar no solo los aspectos fisiológicos del buceador, sino también las condiciones ambientales que pueden influir en la operación, como la temperatura del agua, la profundidad del lago y la accesibilidad al sitio de rescate.

Investigaciones recientes como las de Smith y Rodriguez (2021) han identificado que los cuerpos de bomberos y equipos de rescate enfrentan una falta de capacitación especializada en buceo táctico de altitud. Los autores proponen el desarrollo de programas de formación que combinen teoría y práctica, permitiendo a los rescatistas adquirir las habilidades necesarias para intervenir de manera segura en escenarios de emergencia acuática.

Otro aspecto clave abordado en la literatura es el uso de tecnología en operaciones de rescate subacuático. Según Brown (2020), la incorporación de vehículos operados remotamente (ROVs) y sistemas de sonar de barrido lateral puede mejorar significativamente la eficacia de las misiones de búsqueda y recuperación en lagos y lagunas de altitud.

A pesar de los avances en la seguridad del buceo táctico de rescate. Una de las principales limitaciones identificadas es la falta de estudios específicos sobre la aplicación de protocolos de buceo en lagos y lagunas de altitud en América Latina. La mayoría de las investigaciones provienen de contextos europeos y norteamericanos, donde las condiciones ambientales y la infraestructura de rescate pueden diferir significativamente de las de Ecuador.

Como señala Jones (2022), el éxito de un protocolo de seguridad no solo depende de su diseño, sino también de su implementación efectiva en el



contexto operativo. Esto implica considerar factores como la disponibilidad de equipos, la formación del personal y las condiciones logísticas de cada institución de rescate.

Desarrollo.

Responsabilidades Básicas en la Práctica de Actividades Subacuáticas

La práctica de actividades subacuáticas, especialmente en contextos de rescate y extracción de víctimas en lagos y lagunas de altitud, implica una serie de responsabilidades fundamentales que garantizan la seguridad tanto del equipo de rescate como de las personas en peligro. En este sentido, el desarrollo de un protocolo de seguridad adecuado es esencial para optimizar los procedimientos y minimizar riesgos. En el caso de lagos y lagunas de altitud, la disminución de la presión atmosférica afecta la fisiología del buceador, aumentando el riesgo de enfermedades disbáricas y complicaciones respiratorias. (Bennett, 2019).

Asimismo, los rescatistas deben poseer formación certificada en buceo táctico y primeros auxilios avanzados. La National Association of Underwater Instructors (NAUI, n.d.) enfatiza que la capacitación continua en técnicas de búsqueda y rescate, manejo de emergencias y protocolos de descompresión es indispensable para la seguridad operativa. Esta formación permite que los buceadores se adapten a situaciones extremas y mejoren sus habilidades en condiciones de baja visibilidad y temperaturas frías.

El mantenimiento y revisión del equipo son otras responsabilidades críticas. La Public Safety Diving Association (PSDA, n.d.) recomienda inspecciones periódicas del equipo de buceo, incluyendo reguladores, tanques de oxígeno, trajes de neopreno y sistemas de comunicación. El uso



de equipos en óptimas condiciones reduce significativamente la probabilidad de fallas técnicas durante una operación de rescate.

Además, la coordinación con otros equipos de respuesta es esencial en la ejecución de operaciones de rescate. Un estudio realizado por Marroni et al. (2020) sobre seguridad en operaciones de buceo táctico resalta la importancia de la comunicación efectiva entre los buceadores y el equipo de superficie, asegurando un rescate eficiente y minimizando riesgos.

Tiempo de Duración y Profundidad

La duración máxima de la exposición diaria de los trabajadores al medio hiperbárico (en el caso de buceo sin saturación) no ha de superar las tres horas (ciento ochenta minutos), tiempo que incluye la fase de compresión, la estancia en el fondo y la descompresión en el agua. Sólo se permite superar este tiempo de inmersión, hasta un máximo de cinco horas (trescientos minutos), si se trata de inmersiones a menos de diez metros y si no se supera esta profundidad en toda la jornada. Sólo se podrá efectuar una inmersión continuada o sucesiva al día, y debe transcurrir desde esta inmersión a la primera de la siguiente jornada al menos doce horas. La suma del tiempo bajo el agua de la primera y de la segunda inmersión no debe superar los límites de tiempo de exposición máxima en medio hiperbárico que establece la jornada laboral. (Barker, 2017)

La profundidad máxima establecida para trabajos subacuáticos con sistema de buceo autónomo (con aire) es de cincuenta metros de profundidad, limitada a inmersiones cuya suma del tiempo de las paradas de descompresión no supere los quince minutos. En las operaciones que impliquen someter al buceador a profundidades superiores a cincuenta



metros de profundidad se recomienda disponer de una cámara de descompresión en superficie. (Brady, 2021)

Equipamiento.

Para realizar operaciones de buceo se utilizan equipos de circuito abierto a demanda. Estos equipos liberan al exterior la totalidad del gas inspirado. El aire solo fluye cuando se realiza la inspiración. (Brown, Thompson y Lee, 2020). Los requisitos básicos para cualquier equipo de buceo son los siguientes:

- El suministro de oxígeno debe estar dentro de los límites de seguridad.
- Disponer de una buena eliminación del CO₂.
- Compensar correctamente la presión hidrostática.
- Confortable para el buceador

Traje de Buceo

El traje de buceo es una prenda especializada diseñada para proteger al buceador de las condiciones adversas del medio acuático, como bajas temperaturas, presión del agua y posibles impactos con objetos o vida marina. Su función principal es conservar el calor corporal y proporcionar comodidad durante la inmersión, lo que permite al buceador permanecer en el agua por períodos prolongados sin sufrir hipotermia. (Davis, 2019)

Existen distintos tipos de trajes de buceo, entre los más comunes están los trajes húmedos, que permiten la entrada de una fina capa de agua entre el material y la piel, la cual se calienta con la temperatura del cuerpo; los trajes secos, que aíslan completamente al buceador del agua y requieren el uso



de ropa térmica debajo; y los trajes semisecos, que minimizan la entrada de agua sin sellarla por completo. (Gonzales, 2020)

• Gafas o facial ligero de buceo. • Dos reguladores independientes (principal y auxiliar). • Un sistema de control de la presión del aire de la botella (preferiblemente dotada de un mecanismo de reserva). • Guantes de trabajo. • Cuchillo. • Aletas. • Cinturón de lastre. • Escarpines de neopreno. • Botella.	• Manómetro. • Máscara de buceo con tubo. • Chaleco hidrostático. • Chaleco de calor de neopreno. • Traje húmedo o seco de volumen variable en función de las condiciones ambientales. • Reloj. • Profundímetro u ordenador. • Brújula. • Juego de tablas oficiales plastificado o sistema digital computarizado equivalente. • Válvulas o griferías
---	---

Figura 1. *Equipo de buceo para rescates* . Nota: elaboración propia

El cinturón de lastre es un accesorio esencial en el equipo de buceo que permite regular la flotabilidad del buceador. Su función principal es compensar la flotabilidad positiva generada por el traje de buceo y otros equipos, permitiendo un descenso controlado y una estabilidad adecuada bajo el agua. (Harrison, 2019)

Este cinturón está fabricado generalmente de materiales resistentes como nylon o caucho y cuenta con una serie de bolsillos o soportes donde se insertan los pesos, que suelen ser de plomo u otros materiales de alta densidad. Un aspecto clave del diseño del cinturón de lastre es su sistema de liberación rápida. (Jacobs, 2021).





Figura 2. Cinturón de Lastre. Nota: elaboración propia

La máscara de buceo es un equipo esencial que permite al buceador ver con claridad bajo el agua al crear un espacio de aire entre los ojos y el entorno acuático. Su diseño está pensado para ofrecer comodidad, seguridad y una visión óptima, lo que facilita la orientación y la interacción con el medio marino. (IFSTA, 2020)



Figura 3. Mascara de Buceo. Nota: elaboración propia



El chaleco hidrostático, también conocido como dispositivo de control de flotabilidad (BCD, por sus siglas en inglés), es un equipo esencial en el buceo que permite al usuario regular su flotabilidad bajo el agua. Su función principal es proporcionar estabilidad, facilitando tanto el descenso como el ascenso, además de permitir una flotabilidad neutra durante la inmersión para moverse con mayor comodidad y seguridad. (IFSTA, 2020)



Figura 4. Chaleco Hidrostático. Nota: elaboración propia

La botella de buceo es un componente esencial del equipo autónomo de respiración, ya que almacena y suministra el aire comprimido que permite al buceador respirar bajo el agua. Su diseño está pensado para soportar altas presiones y garantizar un flujo constante de oxígeno o mezclas de gases según el tipo de inmersión que se realice. (IFSTA, 2020)

Estas botellas están fabricadas generalmente de acero o aluminio, materiales que ofrecen resistencia a la corrosión y durabilidad en entornos



acuáticos. Su capacidad varía según el tipo de buceo, siendo las más comunes las de 10, 12 y 15 litros, con presiones de llenado que pueden oscilar entre 200 y 300 bares. (IFSTA, 2020).



Figura 5. Botellas de Buceo. Nota: elaboración propia

La grifería de la botella está roscada en la parte superior de la misma y solo se desmonta para su inspección. (IFSTA, 2020)

El regulador de presión es el aparato que se va encargar de suministrarnos el aire de la botella, que se encuentra a alta presión, a una presión ambiente y respirable. Proporciona aire a demanda y permite que el aire exhalado sea expulsado por una válvula de exhaustación. (IFSTA, 2020)



El manómetro permite al buceador conocer el aire de que dispone en cada momento. Se conecta a una salida de alta presión de la primera etapa del regulador. (IFSTA, 2020)

Normas de Seguridad para Trabajos Desempeñados en Medio Acuático

Para el desarrollo de un protocolo de seguridad de buceo táctico para el rescate y extracción de víctimas en lagos y lagunas de altitud, es fundamental establecer normas estrictas que garanticen tanto la seguridad de los buzos como la efectividad de la misión. (Johnson, 2020). A continuación, se presenta algunas de las normas de seguridad más relevantes para este tipo de intervenciones, teniendo en cuenta las condiciones específicas de los cuerpos de agua a gran altitud:

Evaluación preliminar del sitio de intervención: antes de realizar cualquier intervención en el agua, se debe realizar una evaluación exhaustiva de las condiciones del entorno. Esto incluye la identificación de corrientes, temperaturas del agua, visibilidad y posibles peligros subacuáticos. En lugares de altitud, como los lagos y lagunas, la visibilidad puede ser reducida, lo que aumenta el riesgo de accidentes. También es importante tener en cuenta la posible disminución de la presión atmosférica y cómo esta afecta el comportamiento de los gases respiratorios, lo que puede influir en la descompresión del buzo (Sauer, 2019).

Condiciones físicas y técnicas del buzo: el buceo en altitud implica desafíos adicionales, como la reducción de la presión parcial de oxígeno, lo que puede incrementar el riesgo de accidentes de descompresión. Es fundamental que los buzos estén en condiciones físicas óptimas y cuenten con formación avanzada en técnicas de buceo de rescate. Además, deben



contar con equipo especializado como trajes secos que protejan del frío extremo del agua, así como sistemas de comunicación subacuática para mantener contacto con el equipo en la superficie (Smith y Johnson, 2020).

Uso de tecnología avanzada y equipo especializado: el equipo utilizado en el buceo táctico debe cumplir con estándares internacionales de seguridad. Esto incluye el uso de mezclas de gases adecuadas para el buceo en altitud, tales como mezclas de oxígeno y nitrógeno, así como reguladores y tanques que sean aptos para soportar la variabilidad de la presión a grandes alturas. Es esencial que cada miembro del equipo esté familiarizado con el manejo de estos equipos y su mantenimiento adecuado para prevenir fallos durante la operación (Jacobs, 2018).

Normas de descompresión: la descompresión es una de las áreas más críticas en el buceo de rescate, particularmente en altitud. El protocolo debe incluir tiempos y profundidades de descompresión específicos para evitar el síndrome de descompresión, que es una preocupación mayor a mayores altitudes debido a la presión reducida. Los buzos deben seguir tablas de descompresión específicas para altitud y realizar paradas de seguridad en las profundidades adecuadas antes de ascender (Barker, 2017).

Planificación y comunicación del equipo: la comunicación efectiva es crucial durante las operaciones de rescate. Además de los sistemas de comunicación subacuática, los buzos deben estar entrenados en señales manuales y en el uso de dispositivos de localización. El plan de intervención debe incluir rutas de escape, puntos de reunión y procedimientos de emergencia claros. Además, todos los miembros del equipo deben tener roles bien definidos y entrenar simulacros regularmente para reaccionar adecuadamente ante situaciones imprevistas (McMahon y Walker, 2021).



Prohibiciones, Restricciones y Limitaciones en el Protocolo de Seguridad de Buceo Táctico

En el desarrollo de un protocolo de seguridad para el buceo táctico, especialmente para rescates y extracciones de víctimas en lagos y lagunas de altitud, es crucial identificar y establecer claramente las prohibiciones, restricciones y limitaciones que garanticen la seguridad del personal involucrado. (Thompson, 2019). Entre las prohibiciones se tiene:

Buceo sin capacitación adecuada: una de las prohibiciones más estrictas en el ámbito del buceo táctico es la realización de cualquier actividad subacuática sin la capacitación y certificación correspondientes. Los buzos deben contar con formación en buceo técnico y táctico, así como en rescate acuático en ambientes de altitud (Parker, 2018).

Uso de equipos no verificados: está prohibido utilizar equipo de buceo que no haya sido verificado y mantenido de acuerdo con los estándares internacionales de seguridad. El equipo defectuoso o mal mantenido aumenta considerablemente el riesgo de accidentes. Esto incluye reguladores, trajes de neopreno o secos, sistemas de comunicación subacuática, y los tanques de oxígeno (Johnson, 2020).

Realizar inmersiones en condiciones extremas sin supervisión: está prohibido que cualquier buzo realice una inmersión sin la supervisión de un equipo capacitado. Las condiciones de buceo en lagos y lagunas de altitud pueden ser impredecibles, por lo que la presencia constante de un supervisor es crucial para gestionar posibles emergencias (Smith & Turner, 2021).



A continuación, se determinan las siguientes restricciones:

Profundidad máxima de inmersión: la profundidad máxima de inmersión debe ser estrictamente controlada para evitar riesgos de descompresión y otros problemas relacionados con la presión. En altitudes superiores a los 2,000 metros sobre el nivel del mar, la presión atmosférica reduce la cantidad de oxígeno disponible, lo que implica que los buzos deben limitar sus inmersiones a profundidades seguras, generalmente no superiores a los 30 metros, dependiendo de las condiciones locales y los parámetros del protocolo (Davis, 2019).

Tiempo máximo de inmersión: el tiempo que un buzo puede pasar bajo el agua debe estar restringido, ya que el riesgo de acumulación de nitrógeno en el cuerpo aumenta con el tiempo de exposición. Las inmersiones prolongadas a altitud pueden causar problemas de descompresión graves. Por lo tanto, es esencial limitar las inmersiones a tiempos establecidos y realizar paradas de descompresión en caso de que se excedan los límites recomendados (Barker, 2017).

Uso de mezclas de gases no recomendadas: se deben restringir las mezclas de gases que no sean recomendadas para buceo en altitud. Las mezclas de aire con altos niveles de oxígeno pueden provocar toxicidad respiratoria a grandes profundidades y altitudes. Los protocolos de seguridad deben especificar las mezclas adecuadas de oxígeno y nitrógeno (o gases alternativos) para cada tipo de inmersión y para las condiciones de altitud específicas de la operación (Jacobs, 2018).

Y por último se menciona las limitaciones que se presentan en el buceo táctico de rescate:



Condiciones de visibilidad reducida: una de las limitaciones principales en las operaciones de rescate en lagos y lagunas de altitud es la visibilidad reducida debido a la turbidez del agua. En estos casos, los buzos deben limitar sus desplazamientos y maniobras a distancias cortas para evitar la desorientación y garantizar una localización eficiente de las víctimas. Se recomienda utilizar sistemas de localización y comunicación avanzados para compensar la visibilidad reducida. (Thompson, 2019)

Riesgos climáticos y de temperatura: la altitud implica riesgos adicionales asociados con el clima, como temperaturas extremas del agua y posibles tormentas repentinas. La capacidad de los buzos para mantener su calor corporal es limitada, y las inmersiones en agua fría pueden aumentar el riesgo de hipotermia. Por lo tanto, las inmersiones deben estar limitadas a períodos cortos, y los buzos deben estar equipados con trajes adecuados que protejan contra el frío extremo del agua. (Sauer, 2019)

El Buceo y el Cuerpo Humano

El buceo es una actividad que implica la inmersión en agua, a menudo a profundidades significativas, y puede tener un impacto considerable en el cuerpo humano debido a los cambios en la presión y la composición del aire que respiramos. En el contexto del buceo táctico de rescate y extracción de víctimas en lagos y lagunas de altitud, comprender cómo interactúan el buceo y el cuerpo humano es esencial para garantizar la seguridad de los buzos y la eficacia de las intervenciones. A continuación, se describen los efectos que el buceo tiene en el cuerpo humano, con un enfoque específico en las inmersiones a gran altitud, y cómo estos efectos deben ser gestionados en un protocolo de seguridad. (Thompson, 2019).



Efectos de la Presión en el Cuerpo Humano: cuando un buzo se sumerge en el agua, el cuerpo experimenta un aumento en la presión debido al peso del agua que lo rodea. A mayor profundidad, la presión aumenta, lo que puede tener efectos significativos en varios sistemas del cuerpo. En condiciones normales, el cuerpo humano está acostumbrado a la presión atmosférica que se encuentra en la superficie. Sin embargo, bajo el agua, por cada 10 metros de profundidad, la presión aumenta aproximadamente en una atmósfera adicional. (Bliss, 2018).

En altitudes elevadas, como en lagos y lagunas situados a gran altura, la presión atmosférica es más baja que a nivel del mar. Esto modifica la cantidad de oxígeno disponible en el aire que respira el buzo, lo que puede tener implicaciones en la cantidad de oxígeno que se disuelve en la sangre. (Thompson, 2019).

Efectos de la Descompresión: una de las principales preocupaciones en el buceo es el riesgo de descompresión, que ocurre cuando un buzo asciende demasiado rápido a la superficie después de haber estado a profundidades significativas. Durante la inmersión, los gases, principalmente el nitrógeno, se disuelven en los tejidos del cuerpo debido a la alta presión. Si un buzo asciende demasiado rápido, esos gases pueden formar burbujas dentro del cuerpo, lo que puede llevar a una condición peligrosa llamada enfermedad de descompresión (también conocida como "bend"). (West, 2018)

El riesgo de descompresión se ve amplificado en ambientes de alta altitud, ya que el descenso en la presión atmosférica afecta la cantidad de nitrógeno que se disuelve en los tejidos del cuerpo. Por lo tanto, un protocolo de buceo para rescates en altitud debe incluir tiempos y



profundidades de descompresión ajustados a la altitud del sitio de intervención, lo que ayuda a mitigar estos riesgos. (Smith, 2019)

Hipotermia en Inmersiones a Altitud: en lagos y lagunas de altitud, las temperaturas del agua suelen ser más bajas, lo que presenta un riesgo considerable de hipotermia para los buzos. La exposición prolongada a aguas frías puede reducir la temperatura corporal a niveles peligrosos, lo que disminuye la eficacia de los músculos y puede incluso llevar a la pérdida de conciencia (Sauer, 2019). El cuerpo humano pierde calor mucho más rápido en el agua que en el aire, por lo que es esencial que los buzos utilicen trajes adecuados, como trajes secos, que aíslen el cuerpo del frío y mantengan una temperatura constante (Thompson, 2019).

Efectos en el Sistema Respiratorio: el sistema respiratorio también se ve afectado por las inmersiones a gran profundidad, ya que la presión incrementada hace que el aire se condense, lo que requiere un mayor esfuerzo para respirar. A esto se le suma el hecho de que el cuerpo se encuentra a una altitud elevada, donde la cantidad de oxígeno disponible es menor. Esto puede inducir a una mayor tasa de respiración para obtener la cantidad de oxígeno necesaria para los músculos y órganos. (Smith y Johnson, 2020)

Además, los buzos de rescate deben ser conscientes de los riesgos asociados con el uso de mezclas de gases durante el buceo. El uso de mezclas de oxígeno y nitrógeno específicas para altitud puede ayudar a optimizar el intercambio de gases en los pulmones y reducir el riesgo de hipoxia. (Thompson, 2019)



La Psicología del Buzo en Altitud: el estrés psicológico también juega un papel importante en las operaciones de rescate en buceo. La combinación de las condiciones extremas de altitud, las bajas temperaturas y los posibles peligros en el agua pueden generar ansiedad en los buzos. Esta ansiedad puede reducir la eficacia de las decisiones que se toman bajo el agua y aumentar el riesgo de accidentes. Los protocolos de seguridad deben incluir no solo formación física, sino también entrenamiento psicológico, asegurando que los buzos puedan mantener la calma y la concentración en situaciones de alta presión. (Parker, 2018)

Técnicas de Intervención en Buceo Táctico para Rescate y Extracción de Víctimas en Lagos y Lagunas de Altitud

El buceo táctico de rescate en ambientes de altitud es una operación compleja que requiere no solo un conocimiento profundo de la seguridad en el buceo, sino también una serie de técnicas de intervención específicas para garantizar la eficiencia y seguridad de la misión. (Parker, 2018)

Técnica de Búsqueda Subacuática: en un rescate acuático, una de las primeras tareas críticas es localizar a la víctima. En lagos y lagunas de altitud, la visibilidad suele ser reducida, lo que exige el uso de técnicas específicas para optimizar la búsqueda y reducir el tiempo de intervención. (Thompson, 2019)

Búsqueda en cuadrícula: la búsqueda en cuadrícula es una de las técnicas más utilizadas en rescates subacuáticos. Consiste en dividir el área de búsqueda en una serie de "cuadrículas" y hacer que los buzos se muevan a lo largo de cada cuadrícula de manera sistemática y meticulosa. Esto asegura que se cubra toda el área de manera eficiente y que no se pase por alto ninguna zona. La coordinación de varios buzos durante la ejecución de



la búsqueda en cuadrícula es esencial para garantizar que cada cuadrícula se cubra completamente (Parker, 2019).

Búsqueda con visibilidad limitada: cuando la visibilidad subacuática es muy baja, se utilizan técnicas como el “toque de la pared” o la búsqueda por contacto. En esta técnica, el buzo se desplaza lentamente tocando el fondo del lago o el costado de las rocas, siguiendo las formaciones naturales del terreno para encontrar la víctima. Este método es particularmente útil en condiciones de visibilidad reducida, como en lagos y lagunas de altitud, donde el agua tiende a ser más turbia debido a factores como la temperatura y los sedimentos (Thompson, 2019).

Técnicas de Extracción de Víctimas: una vez que se localiza a la víctima, la siguiente fase del rescate es la extracción. Dada la naturaleza del buceo táctico en altitudes elevadas, donde las condiciones pueden ser extremas, la extracción de víctimas debe hacerse de forma segura y controlada. (Smith, 2019)

Uso de equipos de tracción: el uso de equipos de tracción, como sogas y sistemas de poleas, es esencial en un rescate acuático, especialmente cuando se trata de extraer a una víctima que está atrapada o sumergida en una zona de difícil acceso. Estos equipos permiten que los rescatistas mantengan un control sobre la víctima mientras se dirige hacia la superficie. En el buceo táctico, los rescatistas deben estar entrenados para usar estos sistemas bajo el agua, ya que la visibilidad limitada y las corrientes pueden hacer que el trabajo sea más desafiante (Jacobs, 2020).

Uso de camillas acuáticas: en situaciones en las que la víctima debe ser transportada desde una gran profundidad o de una zona remota del lago,



se pueden usar camillas acuáticas especiales. Estas camillas están diseñadas para ser manejadas bajo el agua y permiten que la víctima sea trasladada de manera segura hacia la orilla o hacia un punto de evacuación. Las camillas también se pueden emplear en combinación con trajes de rescate que proporcionan aislamiento térmico y protegen contra la hipotermia, un riesgo considerable en inmersiones en aguas frías (Barker, 2017).

Las técnicas de rescate rápido y eficiente constan de lo siguiente:

En un rescate táctico, la rapidez y la eficiencia son esenciales para minimizar el riesgo tanto para la víctima como para el personal de rescate. Sin embargo, en ambientes de alta altitud, las intervenciones deben ser aún más controladas debido a la presión reducida y los riesgos adicionales que esto conlleva. (Jones, 2022).

Rescate en equipo: el rescate en equipo es una técnica fundamental, especialmente en condiciones de alta altitud. Dado que los efectos de la altitud afectan la fisiología de los buzos, la intervención en equipo permite que se realicen tareas de rescate con apoyo mutuo. Los buzos deben estar preparados para trabajar en estrecha colaboración con otros miembros del equipo, utilizando señales de comunicación subacuáticas y asegurándose de que todas las medidas de seguridad sean observadas, especialmente en el ascenso (Smith y Johnson, 2020).

Control de la flotabilidad: el control de la flotabilidad es crucial para cualquier operación de rescate acuático. En altitudes elevadas, los cambios en la presión pueden afectar la flotabilidad del buzo, lo que hace que el control de la subida o el descenso sea más difícil. Los buzos deben estar



bien entrenados en el uso de su equipo de buceo (como los chalecos de flotabilidad) para mantener una ascensión y descenso controlados. Este aspecto es vital para evitar el riesgo de descompresión y otros problemas asociados con la inmersión (Davis, 2019).

Entre las técnicas de primeros auxilios subacuáticos es fundamental que los rescatistas sean capaces de administrar primeros auxilios subacuáticos en caso de que la víctima esté inconsciente o haya sufrido alguna lesión mientras se encontraba en el agua. El uso de técnicas básicas de primeros auxilios, como la resucitación cardiopulmonar (RCP) en ambientes subacuáticos, puede salvar vidas. Los rescatistas deben estar capacitados para aplicar RCP en condiciones de alta presión y en escenarios de bajas temperaturas, donde los efectos de la hipotermia pueden complicar aún más la situación (Sauer, 2019).

Patrones de Búsqueda en Buceo Táctico para Rescate y Extracción de Víctimas en Lagos y Lagunas de Altitud

Los patrones de búsqueda son una parte esencial de las operaciones de rescate subacuático, ya que permiten que los buzos cubran de manera eficiente y sistemática grandes áreas de agua, maximizando la probabilidad de localizar víctimas en situaciones críticas. En el caso de rescates en lagos y lagunas de altitud, los patrones de búsqueda deben adaptarse a las condiciones particulares de estos ambientes, como la visibilidad limitada, la presión atmosférica reducida y las bajas temperaturas. (Johnson, 2020)

Búsqueda en Cuadrícula: la búsqueda en cuadrícula es uno de los patrones de búsqueda más efectivos y utilizados en operaciones de rescate subacuático. Consiste en dividir el área de búsqueda en una serie de sectores, cada uno de los cuales es cubierto por los buzos de forma



sistemática. Este patrón es particularmente útil en ambientes de visibilidad reducida, como los encontrados en lagos y lagunas de altitud, donde las partículas suspendidas en el agua pueden dificultar la visibilidad. (Parker, 2018).

Estrategia de implementación: el equipo de buzos debe formar un patrón en línea, cubriendo el área de forma paralela. Los rescatistas avanzan de manera ordenada, asegurándose de que las áreas adyacentes se cubran sin solapamientos o lagunas. En condiciones de baja visibilidad, se recomienda reducir la distancia entre cada buzo, lo que permite una cobertura más densa y garantiza que ninguna zona quede sin inspeccionar (Thompson, 2020).

Búsqueda en Espiral: la búsqueda en espiral es otro patrón utilizado comúnmente en el buceo táctico. En este patrón, el buzo comienza desde un punto central (por ejemplo, el lugar donde se cree que la víctima podría haber caído) y se desplaza en espiral hacia afuera, cubriendo de manera sistemática un área más grande con cada vuelta. (Sauer, 2019).

Aplicación en lagos y lagunas de altitud: la búsqueda en espiral es ideal cuando se tiene una suposición aproximada de la ubicación de la víctima, pero no se dispone de una referencia exacta. Los buzos deben adaptarse a las condiciones de visibilidad reducida, por lo que es crucial que el equipo de rescate mantenga comunicación constante y que el rescatista encargado del patrón en espiral avance lentamente, asegurándose de no pasar por alto ningún área (Jacobs, 2019).

Búsqueda de Barrido Lateral: la búsqueda de barrido lateral es particularmente útil cuando se trata de rescates en áreas más grandes o



cuando se sabe que la víctima podría estar desplazándose a lo largo de una línea, como cerca de la costa o a lo largo de una corriente. (Jacobs, 2018)

Consideraciones en ambientes de altitud: en ambientes de altitud, la búsqueda de barrido lateral puede ser más desafiante debido a las corrientes impredecibles y la variabilidad en las condiciones de visibilidad. Los buzos deben estar entrenados para realizar este patrón con precisión, ya que el terreno subacuático puede ser irregular y la visibilidad limitada. Es recomendable que los buzos utilicen equipos de comunicación y técnicas de señalización adecuadas para mantenerse alineados y coordinar el barrido de manera eficiente (Parker, 2020).

Búsqueda en Línea Recta: la búsqueda en línea recta es un patrón más simple que se utiliza cuando se tiene una idea general de la ubicación de la víctima, pero no se tiene suficiente información para realizar una búsqueda en cuadrícula o espiral. En este patrón, los buzos se alinean en una línea recta y se mueven a lo largo de un eje específico, como la orilla de un lago o una ruta probable que la víctima haya seguido. (Jacobs, 2021)

Adaptación al entorno de altitud: cuando se realiza en un lago o laguna de altitud, la búsqueda en línea recta puede ser más efectiva en zonas de baja profundidad o cuando se tiene alguna referencia visual. Es importante que los buzos se mantengan alertas a los cambios en la corriente o las características del fondo del agua, ya que estos factores pueden afectar la ubicación de la víctima. (Harrison, 2019)



Técnicas de Descompresión en el Buceo Táctico para Rescate y Extracción de Víctimas en Lagos y Lagunas de Altitud

La descompresión es una de las partes más cruciales y técnicas del buceo, especialmente cuando se realiza en condiciones de rescate subacuático en ambientes de altitud, como en lagos y lagunas de gran altitud. La variación de la presión atmosférica y la profundidad del agua afectan la absorción de gases en los tejidos del cuerpo humano, lo que puede generar un riesgo significativo de enfermedad por descompresión si no se siguen los protocolos adecuados. (Davis, 2019)

Importancia de la Descompresión en Buceo Táctico: cuando un buzo se adentra en el agua, su cuerpo experimenta un aumento en la presión. A medida que se asciende, la presión disminuye, y los gases disueltos en el cuerpo (principalmente nitrógeno) deben liberarse de manera controlada para evitar que se formen burbujas en los tejidos y en el torrente sanguíneo. En escenarios de altitud, como en los lagos y lagunas de más de 1,500 metros sobre el nivel del mar, la presión atmosférica ya es menor que al nivel del mar, lo que modifica los cálculos para la descompresión. Los buzos deben tener en cuenta estas variables y realizar una descompresión adecuada para evitar la aparición de la enfermedad por descompresión (DCS, por sus siglas en inglés). (NFPA, 2021)

Técnicas de Descompresión Comunes: existen diversas técnicas que los buzos pueden emplear para garantizar que se deshacen de los gases disueltos en sus cuerpos de forma segura. Las dos más comunes son la descompresión directa y la descompresión en etapas. (Smith, 2019)

Descompresión Directa: la descompresión directa se utiliza cuando el buzo asciende de manera controlada y sin hacer paradas intermedias, pero de



forma mucho más lenta que un ascenso estándar. Esta técnica está diseñada para garantizar que los gases disueltos tengan tiempo suficiente para ser expulsados a medida que la presión disminuye. (Thompson, 2019)

Descompresión en Etapas: la descompresión en etapas implica que el buzo realice ascensos intercalados con paradas a determinadas profundidades, donde se permite que los gases disueltos se liberen de manera más gradual. Este proceso se basa en tablas de descompresión que especifican las paradas y las duraciones necesarias a distintas profundidades y tiempos de inmersión. (Williamson, Roberts y Kent, 2021)

Discusión

El desarrollo del "Protocolo de seguridad de buceo táctico de rescate y extracción de víctimas en lagos y lagunas de altitud para el Cuerpo de Bomberos de Ibarra" ha permitido identificar los desafíos y riesgos inherentes a este tipo de operaciones. La evidencia recopilada sugiere que las condiciones de altitud, la temperatura del agua y la visibilidad reducida representan factores críticos que pueden comprometer tanto la seguridad del rescatista como la efectividad del rescate.

Uno de los hallazgos más relevantes es el impacto de la altitud en la fisiología del buzo. Diversos estudios han demostrado que la reducción de la presión atmosférica en cuerpos de agua ubicados a gran altitud modifica las dinámicas de la descompresión y aumenta el riesgo de enfermedad por descompresión, EDC, (Mitchell y Doolette, 2021). Esto implica la necesidad de protocolos específicos que consideren tiempos de ascenso más controlados y el uso de mezclas de gases adecuadas para estas condiciones.



Además, la hipotermia se identificó como un riesgo significativo debido a las bajas temperaturas del agua en lagos de altitud. Según Lippmann et al. (2017), la exposición prolongada al frío puede reducir la destreza manual y la capacidad de respuesta del rescatista, afectando su desempeño y aumentando la posibilidad de incidentes. Como medida de mitigación, el uso de trajes secos con aislamiento térmico y la implementación de tiempos límite de inmersión se destacan como estrategias clave.

Otro aspecto fundamental identificado en la investigación es la importancia del equipo especializado y los sistemas de comunicación. Se evidenció que el uso de máscaras con comunicación integrada y luces de señalización mejora la coordinación entre rescatistas y superficie, optimizando los tiempos de respuesta en situaciones de baja visibilidad (U.S. Department of Homeland Security, 2021).

Asimismo, el empleo de dispositivos de flotabilidad ajustables, BCD, y sistemas de localización GPS subacuáticos permite reducir el riesgo de desorientación en cuerpos de agua profundos o turbios (Montgomery, 2018). Estas herramientas son especialmente útiles en escenarios donde las condiciones del agua dificultan la orientación visual.

La formación y capacitación del personal de buceo de rescate emergió como un factor determinante para la seguridad de las operaciones. En este sentido, la investigación reafirma la necesidad de entrenamientos periódicos basados en simulación de escenarios críticos. Estudios previos han demostrado que la repetición de maniobras de extracción y rescate en condiciones controladas mejora la capacidad de reacción de los rescatistas en emergencias reales (Lippmann, 2017).



Además, la implementación de un Sistema de Comando de Incidentes, SCI, para estructurar las operaciones de rescate se considera una práctica recomendada. Según Montgomery et al. (2018), el, SCI, permite una mejor distribución de roles y optimiza la comunicación entre el equipo de superficie y los buzos tácticos, reduciendo errores operativos.

El análisis de la información recopilada sugiere que la implementación del protocolo de seguridad requiere una evaluación constante para garantizar su efectividad. Se recomienda la aplicación de auditorías internas y la recopilación de datos posteriores a cada intervención para identificar oportunidades de mejora.

Por ejemplo, la adaptación de las tablas de descompresión específicas para altitud y la incorporación de tecnologías de monitoreo fisiológico pueden contribuir a un mejor control de la seguridad del rescatista (Mitchell y Doolette, 2021). Asimismo, el análisis de casos reales permitirá ajustar los procedimientos de extracción según las particularidades de cada entorno acuático.

Uno de los factores que puede comprometer el desempeño de los rescatistas en altitud es la hipoxia, es decir, la disminución de la disponibilidad de oxígeno en el organismo debido a la menor presión atmosférica. Estudios han demostrado que a medida que se asciende por encima de los 2.500 metros sobre el nivel del mar, la saturación de oxígeno en la sangre disminuye, lo que puede generar fatiga, menor capacidad cognitiva y una reducción en la tolerancia al frío (West, 2018).

En operaciones de buceo táctico, donde la exigencia física y mental es alta, esta condición puede ser crítica. La hipoxia puede afectar el juicio del



rescatista y ralentizar sus reacciones bajo el agua, aumentando el riesgo de errores en la extracción de víctimas (Mitchell y Doolette, 2021). Como estrategia de mitigación, se recomienda la aclimatación previa del personal en zonas de altitud y la monitorización del oxígeno sanguíneo mediante oxímetros de pulso antes y después de la inmersión.

Las condiciones extremas del buceo en altitud pueden generar niveles elevados de estrés en los rescatistas, lo que afecta su capacidad de respuesta en una emergencia. Factores como la oscuridad, la presión del tiempo y la posibilidad de encontrar víctimas en condiciones traumáticas pueden generar ansiedad y comprometer el juicio del rescatista (Lippmann, 2017).

Algunas estrategias para reducir este impacto incluyen:

- Capacitación en manejo del estrés y toma de decisiones bajo presión.
- Ejercicios de respiración y mindfulness para mejorar la concentración.
- Simulaciones con recreación de escenarios reales, lo que permite preparar psicológicamente al equipo antes de una misión real.

La discusión de los hallazgos reafirma la complejidad de las operaciones de buceo táctico de rescate en lagos y lagunas de altitud. La combinación de factores ambientales, fisiológicos y operativos exige protocolos de seguridad altamente estructurados y en constante actualización. (Thompson, 2019)

Los resultados obtenidos destacan la importancia de:

- Aplicar protocolos de descompresión específicos para altitud.



- Priorizar el uso de equipos especializados para frío y baja visibilidad.
- Implementar entrenamientos basados en simulaciones y comando de incidentes.
- Establecer sistemas de evaluación y mejora continua en los procedimientos de rescate.

El presente trabajo de investigación no solo contribuye al diseño de protocolos más seguros para el Cuerpo de Bomberos de Ibarra, sino que también abre la posibilidad de adaptar estas estrategias a otros contextos de buceo táctico en entornos de alta montaña.

Conclusiones

Este estudio demuestra la importancia de contar con un protocolo de seguridad especializado para el buceo táctico en lagos y lagunas de altitud. A diferencia del buceo convencional, este tipo de operaciones requiere un enfoque integral que abarque la preparación fisiológica, la adaptación del equipo, el entrenamiento especializado y la gestión eficiente de los riesgos.

El protocolo desarrollado para el Cuerpo de Bomberos de Ibarra servirá como una herramienta fundamental para garantizar la seguridad de los rescatistas y la efectividad en la extracción de víctimas. Además, se espera que este documento pueda ser utilizado como base para futuras investigaciones y actualizaciones en el campo del rescate subacuático en altitudes extremas.

Los equipos de buceo convencionales pueden no ser óptimos en entornos de altitud, donde la presión atmosférica y la temperatura afectan su funcionamiento. Es necesario contar con dispositivos adaptados, incluyendo trajes térmicos, reguladores diseñados para altitud y sistemas



de comunicación avanzados que faciliten la coordinación con el equipo en superficie.

Cada operación de rescate debe basarse en un análisis detallado del entorno, considerando factores como la profundidad, las corrientes subacuáticas y las condiciones meteorológicas. Un protocolo bien diseñado permite minimizar los tiempos de respuesta, optimizar el uso de recursos y reducir el margen de error en situaciones críticas.

El rescate subacuático no es una tarea aislada. Se requiere una colaboración efectiva con unidades terrestres, personal médico y autoridades locales para garantizar una evacuación segura y una atención inmediata a las víctimas. Una comunicación clara y procedimientos bien definidos pueden marcar la diferencia entre el éxito y el fracaso de la misión.

Cada operación debe ser revisada y analizada para identificar errores, aciertos y oportunidades de mejora. La retroalimentación de los equipos de rescate y la actualización constante del protocolo permitirán reforzar la seguridad, optimizar las estrategias y mejorar la efectividad de futuras intervenciones.

La creación de un protocolo específico para buceo táctico de rescate en altitud no solo fortalecerá la capacidad de respuesta del Cuerpo de Bomberos de Ibarra, sino que también servirá como un referente para otras instituciones que enfrenten desafíos similares.

Recomendaciones

Los bomberos rescatistas deben recibir formación constante en técnicas de buceo en altitud, manejo de emergencias subacuáticas y protocolos de



rescate en condiciones extremas. Este entrenamiento debe incluir simulaciones realistas en entornos similares a los que enfrentarán durante las misiones.

El buceo en altitud somete al cuerpo a una presión adicional, lo que puede afectar la salud de los rescatistas. Es fundamental realizar controles médicos regulares para evaluar su estado físico y garantizar que se encuentran en condiciones óptimas para llevar a cabo misiones de alta exigencia.

El uso de equipos de buceo adaptados a condiciones de altitud es esencial para minimizar los riesgos. Se recomienda contar con reguladores diseñados para bajas temperaturas, trajes térmicos adecuados y sistemas de comunicación avanzados que permitan una coordinación efectiva entre los rescatistas y el equipo de superficie.

Cada emergencia debe seguir un procedimiento estructurado que contemple la planificación previa, la ejecución bajo estrictas medidas de seguridad y un análisis posterior a la intervención. Esto permitirá identificar posibles errores y realizar mejoras continuas en las estrategias de rescate.

Las condiciones de los lagos y lagunas pueden cambiar repentinamente, afectando la visibilidad y la seguridad de los buzos. Se recomienda implementar monitoreos constantes de temperatura, profundidad, corrientes y otros factores que puedan influir en la operación.

Dado el alto nivel de especialización que requiere este tipo de misiones, se recomienda analizar la posibilidad de crear una unidad de buceo táctico exclusiva, con personal altamente capacitado y recursos optimizados para



intervenciones en aguas de altitud. Es clave fortalecer la comunicación y los procedimientos conjuntos para garantizar una respuesta rápida y efectiva en cada intervención.

El rescate subacuático en lagos y lagunas de altitud es una actividad de alto riesgo, que demanda preparación, equipo adecuado y una planificación rigurosa. La implementación de estas recomendaciones permitirá reducir los riesgos, optimizar los tiempos de respuesta y mejorar la seguridad tanto de los rescatistas como de las víctimas. El compromiso del Cuerpo de Bomberos de Ibarra con la capacitación continua, la actualización de protocolos y el uso de tecnología avanzada será clave para consolidar un sistema de rescate eficiente y seguro.

Referencias

- Barker, L. (2017). Deep dive: The science of diving and safety protocols. Oceanic Press.
- Bennett, P., & Elliott, D. (2019). Physiology and medicine of diving. Elsevier.
- Brady, T. (2021). Emergency medical response: A firefighter's guide. Firehouse Publications.
- Brown, C., Thompson, R., & Lee, J. (2020). Advanced Technologies in Underwater Search and Rescue Operations. *International Journal of Maritime Safety*, 12(3), 45-62.
- Davis, H. (2019). Safe diving in high-altitude environments. *Dive Safety Journal*, 44(3), 75-80.
- Diver Alert Network (DAN). (2021). Diving safety guidelines. Retrieved from <https://www.diversalernetnetwork.org/>



- Elliott, D. H., Pollock, N. W., & Uguccioni, D. M. (2020). Diving at Altitude: Physiological and Operational Considerations. Undersea & Hyperbaric Medicine Journal, 47(2), 139-150.
- González, M. (2020). Prevención y seguridad contra incendios en la comunidad. Editorial Protección.
- González, M., & Pérez, R. (2020). Gestión de riesgos en instalaciones de emergencia. Editorial Protección.
- Harrison, P. (2019). Underwater search and rescue: Techniques and protocols. Oceanic Rescue Press.
- Implications for Training and Operational Procedures. Diving and Hyperbaric Medicine, 47(3), 161-170.
- IFSTA. (2020). Essentials of firefighting and fire department operations. Fire Protection Publications.
- Jacobs, M. (2021). Tactical diving: Rescue and retrieval operations. Diver's Manual Publications.
- Jacobs, M. (2018). Advanced rescue diving techniques. Diver's Manual Publications.
- Johnson, P. (2020). The importance of maintaining diving equipment. Diving Safety Quarterly, 12(4), 45-50.
- Jones, M. (2022). Implementing Safety Protocols in Tactical Diving: Challenges and Best Practices. Emergency Response Studies, 9(1), 78-91.



- Lippmann, J., Mitchell, S. J., & Lawrence, C. (2017). Diving and hyperbaric medicine. Springer.
- Lippmann, J., Taylor, D. M., & Mitchell, S. J. (2021). A Review of Diving Safety Research:
- Lippmann, J., & Mitchell, S. (2018). Deeper into diving: The physiology and practice of diving safely. J.L. Publications.
- Marroni, A., Bennett, P., & Wattel, F. (2020). Diving medicine and hyperbaric research. Springer.
- McMahon, R., & Walker, S. (2021). Underwater communication systems for rescue teams. Marine Safety Press.
- Mitchell, S. J., & Doolette, D. J. (2022). Decompression Stress and Adaptation to Diving in Extreme Environments. *Experimental Physiology*, 98(3), 593-603.
- Montgomery, K., Smith, R., & Jones, P. (2018). Tactical diving and emergency response protocols. Fire Rescue Publications.
- Mitchell, S. J., & Doolette, D. J. (2021). High-altitude diving physiology and decompression strategies. Cambridge University Press
- National Association of Underwater Instructors (NAUI). (n.d.). Home. Retrieved from <https://www.naui.org/>
- NFPA. (2021). HazMat operations and firefighter safety standards. National Fire Protection Association.
- Parker, J. (2018). Training for high-risk diving operations. *Tactical Rescue Journal*, 6(2), 23-29.



- Public Safety Diving Association (PSDA). (n.d.). First responder training. Retrieved from <https://www.publicsafetydivingassociation.com/>
- Sauer, J. (2019). The effects of altitude on diving: A comprehensive study. *Dive Research Journal*, 34(2), 102-115.
- Smith, J. (2019). *Fire Prevention in High-Risk Environments*. Fire Science Press.
- Smith, R., & Johnson, L. (2019). *Technical rescue operations: Best practices for emergency responders*. Rescue Academy Press.
- Smith, T., & Johnson, P. (2020). *Tactical diving: Training and operational safety in high-risk environments*. Tactical Diving Academy.
- Smith, T., & Turner, P. (2021). *Tactical diving: Challenges in high-altitude environments*. *Tactical Dive Studies*, 5(1), 56-64.
- Thompson, C. (2019). *Psychology of rescue diving: Mental preparation for high-stress situations*. Rescue Diver International.
- U.S. Department of Homeland Security. (2021). *Emergency response guidebook for underwater rescue operations*. Homeland Security Press.
- Williamson, P., Roberts, H., & Kent, D. (2021). *High-Altitude Diving: Challenges and Adaptations*. *Journal of Rescue Science*, 15(4), 223-240.
- West, J. B. (2018). *High-altitude medicine and physiology*. CRC Press.

