

JMNJE V4. N1. 065

Impacto operativo de la exposición a polvo mineral en la salud respiratoria de trabajadores en minería subterránea

Operational impact of mineral dust exposure on the respiratory health of underground mining workers

Autores:

Cristian Zenon Paz Zevallos
Universidad Nacional de San Agustín
Arequipa – Perú
cpazz@continental.edu.pe
<https://orcid.org/0009-0009-0151-7507>

Carmen Noelia Huaco Ampuero
Universidad Nacional de San Agustín
Arequipa – Perú
chuaco@unsa.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0003-4768-3120>

María del Pilar Paz Zevallos
Universidad Nacional de San Agustín
Arequipa – Perú
mapipaz1858@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0009-9438-3420>

Sandro Charles Paz Zevallos
Escuela Militar de Chorrillos "Coronel Francisco Bolognesi"
Lima – Perú
sandrocharles119@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0000-9437-1037>

Autor de correspondencia: Cristian Zenon Paz Zevallos, cpazz@continental.edu.pe

Recepción: 26-abril-2026

Aceptación: 30-mayo-2026

Publicación: 04-julio-2026

Cómo citar este artículo:

Paz Zevallos, C. Z., Huaco Ampuero, C. N., Paz Zevallos, M. del P., & Paz Zevallos, S. C. (2026). Impacto operativo de la exposición a polvo mineral en la salud respiratoria de trabajadores en minería subterránea. *Journal of Multidisciplinary Novel Journeys & Explorations*, 4(1), 1-29. <https://doi.org/10.63688/yzfsq577>

© 2026; Los autores. Este es un artículo en acceso abierto, distribuido bajo los términos de una licencia Creative Commons (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>) que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea correctamente citada.



RESUMEN

La minería subterránea se ha consolidado como una actividad de gran importancia para el desarrollo económico, aunque al mismo tiempo implica un entorno laboral caracterizado por altos niveles de riesgo debido a la exposición constante a polvo mineral. La inhalación prolongada de estas partículas en suspensión ha sido asociada con alteraciones progresivas en la función respiratoria, el aumento de enfermedades pulmonares ocupacionales y un impacto negativo en el rendimiento laboral, la seguridad y la calidad de vida de los trabajadores. Desde el enfoque de la salud ocupacional, resulta esencial analizar este fenómeno para fortalecer los sistemas de prevención, vigilancia epidemiológica y gestión de riesgos en el sector minero. En este sentido, la investigación tuvo como finalidad determinar el impacto operativo de dicha exposición en la salud respiratoria mediante el análisis de factores de riesgo y sus efectos sobre la función pulmonar, utilizando una revisión sistemática de la literatura bajo el método PRISMA. Este proceso permitió recopilar y sintetizar evidencia científica relevante sobre las condiciones ambientales, ocupacionales y conceptuales vinculadas al material particulado, concluyéndose que la minería subterránea constituye un entorno de alta complejidad donde el polvo mineral representa el principal factor de riesgo asociado al deterioro respiratorio progresivo de los trabajadores.

Palabras clave: Minería subterránea, polvo mineral respirable, salud respiratoria ocupacional, riesgos laborales

ABSTRACT

Underground mining has become a vital activity for economic development, although it also involves a work environment characterized by high levels of risk due to constant exposure to mineral dust. Prolonged inhalation of these airborne particles has been associated with progressive alterations in respiratory function, an increase in occupational lung diseases, and a negative impact on work performance, safety, and the quality of life of workers. From an occupational health perspective, it is essential to analyze this phenomenon to strengthen prevention, epidemiological surveillance, and risk management systems in the mining sector. In this regard, the research aimed to determine the operational impact of this exposure on respiratory health by analyzing risk factors and their effects on lung function, using a systematic literature review under the PRISMA method. This process allowed for the collection and synthesis of relevant scientific evidence on the environmental, occupational, and conceptual conditions related to particulate matter, concluding that underground mining constitutes a highly complex environment where mineral dust represents the main risk factor associated with the progressive respiratory deterioration of workers.

Keywords: Underground mining, respirable mineral dust, occupational respiratory health, workplace hazards



1. INTRODUCCIÓN

La minería subterránea constituye una actividad estratégica para el desarrollo económico, pero también representa un entorno laboral con elevados riesgos ocupacionales asociados a la exposición continua a polvo mineral. En este contexto, la inhalación prolongada de partículas suspendidas puede generar alteraciones en la función respiratoria de los trabajadores, incrementando la incidencia de enfermedades pulmonares ocupacionales y afectando su desempeño laboral, calidad de vida y seguridad en el trabajo. Desde una perspectiva de salud ocupacional, el análisis del impacto operativo de esta exposición resulta fundamental para fortalecer los sistemas de prevención, vigilancia epidemiológica y gestión de riesgos en las operaciones mineras.

Los antecedentes científicos evidencian que la exposición prolongada al polvo mineral en actividades de minería subterránea constituye uno de los principales factores de riesgo para el desarrollo de enfermedades respiratorias ocupacionales. Diversas investigaciones realizadas en contextos mineros de América Latina, Asia y África han reportado una asociación significativa entre la concentración de partículas respirables, especialmente aquellas que contienen sílice cristalina, y la aparición de alteraciones pulmonares crónicas, reducción de la capacidad respiratoria y aumento de la morbilidad laboral.

La presente investigación se justifica por la necesidad de comprender y evaluar el impacto operativo de la exposición a polvo mineral en la salud respiratoria de los trabajadores de minería subterránea, considerando que esta actividad implica una exposición constante a agentes particulados con potencial efecto nocivo sobre el sistema respiratorio. Desde una perspectiva científica y ocupacional, el estudio aporta evidencia relevante para identificar factores de riesgo, fortalecer los programas de vigilancia epidemiológica y optimizar las medidas de prevención y control en los entornos mineros.

El objetivo de esta investigación es determinar el impacto operativo de la exposición a polvo mineral en la salud respiratoria de los trabajadores de minería subterránea, mediante la evaluación de los factores de riesgo ocupacionales y sus efectos sobre la función respiratoria, con el fin de generar evidencia que contribuya al fortalecimiento de las estrategias de prevención, control y vigilancia de la salud en el ámbito minero.

Tabla 1.



Identificación de las Variables de Investigación

Tipo de variable	Variable	Definición conceptual	Dimensiones
Variable independiente	Exposición a polvo mineral	Grado de contacto de los trabajadores con partículas minerales suspendidas en el ambiente laboral de minería subterránea durante el desarrollo de sus actividades.	Concentración de polvo respirable, tiempo de exposición, frecuencia de exposición, uso de equipos de protección respiratoria.
Variable dependiente	Salud respiratoria	Estado funcional y clínico del sistema respiratorio de los trabajadores expuestos a polvo mineral en el entorno minero.	Función pulmonar, síntomas respiratorios, enfermedades respiratorias ocupacionales, capacidad respiratoria.

Fuente: Elaboración propia

Basándonos en la investigación, formulamos las siguientes preguntas de investigación: ¿Cuál es el impacto de la exposición a polvo mineral sobre la salud respiratoria de los trabajadores que laboran en minería subterránea? ¿Qué relación existe entre el nivel y tiempo de exposición a polvo mineral y la presencia de alteraciones respiratorias en los trabajadores de minería subterránea?

Marco teórico

El marco teórico de la presente investigación se fundamentó en la revisión y análisis de literatura científica relacionada con la exposición a polvo mineral y sus efectos en la salud respiratoria de los trabajadores de minería subterránea. Para ello, se abordaron conceptos, teorías y evidencias empíricas sobre los riesgos ocupacionales asociados a la actividad minera, las características del polvo respirable, las enfermedades respiratorias derivadas de la exposición prolongada y las estrategias de prevención y control implementadas en el ámbito de la seguridad y salud en el trabajo.

Minería subterránea y riesgos ocupacionales

En palabras de Galvis et al. (2022) esta actividad extractiva se desarrolla en entornos confinados y de alta complejidad operativa, donde los trabajadores están expuestos a diversos factores de riesgo que pueden afectar su seguridad, salud y desempeño laboral. Las



condiciones propias del trabajo bajo tierra, como la limitada ventilación, la presencia de agentes físicos, químicos y biológicos, así como la utilización de maquinaria pesada, incrementan la probabilidad de accidentes y enfermedades ocupacionales.

Según Aquino et al. (2022) desde la perspectiva de la seguridad y salud en el trabajo, la identificación, evaluación y control de los riesgos ocupacionales representan procesos estratégicos para la protección integral del personal. La implementación de programas de vigilancia, capacitación continua y medidas de control ambiental permite reducir la exposición a factores nocivos y fortalecer la cultura de prevención dentro de las organizaciones.

Características del entorno laboral minero

En este contexto Vera (2020) sostiene que, estas fueron analizadas como elementos determinantes en las condiciones de trabajo y en la exposición de los trabajadores a diversos factores de riesgo ocupacional.

- **Condiciones ambientales subterráneas:** Las labores mineras se desarrollan en espacios confinados donde las condiciones de ventilación, humedad, temperatura e iluminación pueden variar significativamente.
- **Exposición a agentes de riesgo ocupacional:** El entorno minero se caracteriza por la presencia continua de factores de riesgo físicos, químicos y mecánicos, tales como polvo mineral, gases, ruido, vibraciones y material particulado en suspensión.
- **Uso de maquinaria y complejidad operativa:** Las actividades mineras demandan la utilización de equipos especializados y maquinaria pesada para las tareas de perforación, extracción y transporte de minerales.

Principales riesgos ocupacionales en minería subterránea

La revisión de la literatura permitió identificar la exposición a polvo mineral, los agentes físicos y ambientales, como evidencia Galvis et al. (2022) así como los riesgos mecánicos asociados a las operaciones mineras, como factores que incrementaron la probabilidad de enfermedades ocupacionales, accidentes laborales y afectaciones al desempeño de las actividades productivas.



- **Exposición a polvo mineral respirable:** La generación de polvo durante los procesos de perforación, voladura, extracción y transporte de minerales constituye uno de los principales riesgos ocupacionales en minería subterránea.
- **Exposición a agentes físicos y ambientales:** Las operaciones mineras se desarrollan en condiciones donde existen niveles elevados de ruido, vibraciones, temperaturas extremas e iluminación insuficiente.
- **Riesgos mecánicos y accidentes laborales:** El uso de maquinaria pesada, equipos de perforación, sistemas de transporte y actividades de excavación incrementa la probabilidad de incidentes y accidentes ocupacionales.

Seguridad y salud ocupacional en el sector minero

Desde la perspectiva de López et al. (2020) La protección de los trabajadores constituye un componente estratégico dentro de las operaciones mineras, debido a la presencia constante de factores de riesgo que pueden comprometer la integridad física y el bienestar laboral. En este contexto, la implementación de medidas preventivas, programas de capacitación y sistemas de gestión especializados permite reducir la ocurrencia de accidentes y enfermedades ocupacionales, fortaleciendo la cultura de prevención en el entorno de trabajo. Asimismo, de acuerdo con lo expuesto por Naranjo (2021) el cumplimiento de normativas nacionales e internacionales favorece la creación de ambientes laborales más seguros y sostenibles. La vigilancia permanente de las condiciones de trabajo, el monitoreo de los riesgos y la promoción de prácticas seguras contribuyen a mejorar la calidad de vida de los trabajadores, optimizar el desempeño organizacional y garantizar la continuidad eficiente de las actividades productivas.

Exposición a polvo mineral en minería subterránea

Al respecto, Varona et al. (2021) señala que, la generación de partículas en suspensión es una consecuencia frecuente de las actividades de perforación, voladura, excavación y transporte de materiales dentro de las operaciones subterráneas. La presencia continua de estas partículas en el ambiente laboral incrementa el riesgo de inhalación por parte de los trabajadores, especialmente en espacios con ventilación limitada y alta concentración de contaminantes.



La exposición prolongada a material particulado respirable puede ocasionar efectos adversos sobre la salud, principalmente en el sistema respiratorio. Como demuestra Torres et al. (2022) por esta razón, el monitoreo ambiental, la implementación de sistemas de control de polvo y el uso adecuado de equipos de protección personal constituyen medidas fundamentales para minimizar los riesgos ocupacionales y garantizar condiciones laborales más seguras y saludables.

Características del polvo mineral

Conforme a lo planteado por Melgarejo et al. (2021) se analizaron las principales características de las partículas generadas durante las actividades mineras, considerando su composición, tamaño y comportamiento en el ambiente laboral.

- **Composición física y química:** El polvo mineral está constituido por partículas sólidas generadas durante los procesos de extracción y procesamiento de minerales.
- **Tamaño y capacidad de dispersión:** Las partículas de polvo mineral presentan diferentes tamaños, desde partículas gruesas hasta fracciones respirables de diámetro microscópico.
- **Potencial de impacto sobre la salud:** La peligrosidad del polvo mineral depende de factores como su concentración, composición química y tiempo de exposición.

Clasificación del polvo mineral respirable

En este contexto, Tomasina et al. (2025) se identificaron y clasificaron distintos tipos de polvo mineral respirable presentes en el ambiente minero, considerando su composición y origen, tales como sílice cristalina, polvo de carbón y mezclas minerales.

- **Polvo mineral de sílice cristalina:** Este tipo de polvo está compuesto principalmente por dióxido de silicio en forma cristalina, generado en actividades de perforación y trituración de rocas.
- **Polvo de carbón:** Se origina en la extracción y manipulación de carbón mineral. La inhalación prolongada de este tipo de polvo puede provocar neumoconiosis del trabajador del carbón, caracterizada por la acumulación de partículas en los pulmones y el deterioro progresivo de la función respiratoria.



- **Polvo mixto o compuesto:** Está constituido por una combinación de diferentes partículas minerales presentes en el ambiente minero, incluyendo sílice, metales y otros residuos.

Monitoreo y evaluación de la exposición al polvo

Como propone Proaño (2021) la medición de partículas en el ambiente laboral constituye un proceso fundamental dentro de la gestión de riesgos ocupacionales, ya que permite determinar los niveles de concentración de polvo presentes en las áreas de trabajo. Para ello, se emplean métodos instrumentales y técnicas de muestreo personal y ambiental que facilitan la identificación de zonas críticas y la evaluación del grado de exposición de los trabajadores. La evaluación continua de estos contaminantes como demuestra Varona (2021) posibilita el diseño de estrategias de control más efectivas, orientadas a reducir la exposición y prevenir enfermedades respiratorias. Asimismo, el análisis de los resultados obtenidos contribuye a la toma de decisiones en materia de seguridad y salud ocupacional, fortaleciendo la implementación de medidas preventivas basadas en evidencia científica.

Salud respiratoria en trabajadores mineros

Conforme a lo planteado por Mazariegos et al. (2023) el estado funcional del sistema respiratorio en trabajadores expuestos a ambientes mineros constituye un indicador clave para evaluar el impacto de las condiciones laborales sobre la salud ocupacional. La inhalación prolongada de partículas minerales puede generar alteraciones en la capacidad pulmonar, afectando procesos fisiológicos esenciales como la ventilación y el intercambio gaseoso. La evaluación de la salud respiratoria se realiza mediante pruebas clínicas y funcionales, en palabras de Pertuz et al. (2023) permiten identificar de manera temprana signos de deterioro pulmonar. Estos resultados facilitan la implementación de medidas preventivas y el seguimiento médico ocupacional, con el fin de reducir la progresión de enfermedades respiratorias y mejorar la calidad de vida de los trabajadores.

Enfermedades respiratorias asociadas a la exposición a polvo mineral

Como afirma Pescador et al. (2021) analizaron diversas patologías respiratorias vinculadas a la exposición prolongada a polvo mineral en entornos laborales de riesgo, identificándose afecciones de carácter crónico y progresivo que afectaron la función pulmonar de los trabajadores.



- **Neumoconiosis ocupacional:** Se trata de una enfermedad pulmonar crónica causada por la inhalación y acumulación prolongada de polvo mineral en los pulmones. Este proceso genera inflamación progresiva y fibrosis del tejido pulmonar, lo que reduce la capacidad respiratoria y afecta de manera permanente la función pulmonar del trabajador expuesto.
- **Silicosis:** Es una patología pulmonar irreversible producida por la inhalación de sílice cristalina respirable. Se caracteriza por la formación de nódulos fibrosos en los pulmones, lo que provoca dificultad respiratoria progresiva, tos persistente y disminución de la capacidad funcional respiratoria.
- **Bronquitis crónica ocupacional:** Corresponde a la inflamación persistente de los bronquios asociada a la exposición prolongada a polvos y agentes irritantes en el ambiente laboral. Se manifiesta mediante tos productiva crónica, producción excesiva de mucosidad y obstrucción parcial del flujo aéreo.
- **Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC):** Es un trastorno respiratorio progresivo caracterizado por la limitación persistente del flujo de aire, generalmente asociado a la exposición prolongada a contaminantes inhalados.

Consecuencias para la salud y bienestar del trabajador

Como explica Ramos, (2021) se analizaron las principales afectaciones derivadas de la exposición a condiciones laborales adversas, evidenciándose impactos significativos en la salud física y el bienestar general de los trabajadores.

- **Deterioro de la función respiratoria:** La exposición prolongada a agentes contaminantes en el entorno laboral puede generar una disminución progresiva de la capacidad pulmonar.
- **Desarrollo de enfermedades ocupacionales crónicas:** Las condiciones de exposición continua a polvo mineral y otros agentes nocivos incrementan el riesgo de aparición de patologías respiratorias irreversibles.
- **Impacto en el bienestar físico y psicológico:** El deterioro de la salud física asociado a las enfermedades ocupacionales también influye en el estado emocional del trabajador.

Prevención y control de la exposición a polvo mineral



En palabras de Ramírez (2021) la implementación de medidas técnicas y administrativas constituye un eje fundamental para reducir la concentración de partículas en el ambiente laboral. Entre estas estrategias se incluyen el control en la fuente de generación del polvo, la optimización de sistemas de ventilación y la aplicación de procesos operativos más seguros, orientados a disminuir la dispersión de material particulado en las áreas de trabajo.

De manera complementaria, como precisa Flores (2025) el uso adecuado de equipos de protección personal y la capacitación continua del personal fortalecen la prevención de riesgos ocupacionales. Asimismo, el monitoreo ambiental y la vigilancia de la salud permiten identificar oportunamente niveles de exposición peligrosos, facilitando la toma de decisiones basadas en evidencia para proteger la integridad de los trabajadores.

Equipos de protección respiratoria

Tal como sostiene Alvarado (2021) se analizaron los principales dispositivos utilizados para la protección de las vías respiratorias en entornos laborales con alta concentración de partículas en suspensión.

- **Mascarillas filtrantes (respiradores tipo N95 o FFP2/FFP3):** Dispositivos de protección personal diseñados para filtrar partículas en suspensión del aire inhalado. Su eficacia depende del nivel de certificación y del ajuste adecuado al rostro del trabajador, siendo fundamentales para reducir la inhalación de polvo mineral en ambientes de alta exposición.
- **Respiradores con filtro reemplazable:** Equipos semimáscara o máscara completa que incorporan filtros intercambiables según el tipo de contaminante presente. Ofrecen un mayor nivel de protección en comparación con las mascarillas convencionales, siendo adecuados para entornos con concentraciones elevadas de polvo y agentes químicos.
- **Sistemas de respiración autónoma (ERA o SCBA):** Dispositivos de protección avanzada que suministran aire limpio desde una fuente independiente, aislando completamente al usuario del ambiente contaminado.

Programas de capacitación y prevención

Se analizaron diversas estrategias formativas orientadas a la reducción de riesgos ocupacionales en entornos laborales de alta exposición. De acuerdo con lo expuesto por



Olazábal (2024) la revisión teórica permitió identificar programas de capacitación y prevención enfocados en la seguridad y salud ocupacional, la sensibilización sobre agentes contaminantes y el entrenamiento práctico en el control de riesgos,

- **Programas de formación en seguridad y salud ocupacional:** Iniciativas educativas orientadas a fortalecer los conocimientos de los trabajadores sobre identificación de riesgos, uso adecuado de equipos de protección personal y cumplimiento de normas de seguridad.
- **Programas de sensibilización sobre exposición a polvo mineral:** Acciones informativas dirigidas a concienciar a los trabajadores sobre los efectos nocivos de la inhalación de partículas minerales.
- **Programas de entrenamiento práctico en control de riesgos:** Capacitaciones enfocadas en la aplicación de procedimientos operativos seguros, incluyendo técnicas de ventilación, manejo de maquinaria y control de polvo en la fuente.

Normativas internacionales sobre exposición a polvo mineral

Las directrices internacionales en materia de seguridad y salud en el trabajo sobre este tema, para National Association of Safety Professionals (2023) establecen criterios técnicos para la evaluación y control de la exposición a partículas minerales en ambientes laborales. Estas recomendaciones definen límites permisibles de exposición, metodologías de monitoreo ambiental y estándares de protección orientados a reducir los efectos adversos sobre la salud respiratoria de los trabajadores.

Desde la perspectiva de Gavilán et al. (2020) diversos organismos especializados promueven la implementación de sistemas de gestión preventiva basados en la identificación de riesgos y el control en la fuente de emisión. La adopción de estos lineamientos favorece la armonización de prácticas a nivel global, fortaleciendo la vigilancia ocupacional y contribuyendo a la disminución de enfermedades respiratorias asociadas a entornos mineros.

Directrices de la Organización Internacional del Trabajo (OIT)

Al respecto, Rojas et al. (2025) la Organización Internacional del Trabajo establece principios orientados a la protección integral de los trabajadores mediante la promoción de condiciones laborales seguras y saludables. Sus lineamientos enfatizan la prevención de riesgos ocupacionales, la reducción de la exposición a agentes nocivos y la implementación



de sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo en distintos sectores productivos, incluyendo la minería.

Tal como sostiene Organización Nacional de Trabajo (2023) estas directrices promueven la responsabilidad compartida entre empleadores y trabajadores en la identificación y control de peligros en el entorno laboral. Asimismo, impulsan la adopción de políticas preventivas, la capacitación continua del personal y el fortalecimiento de la vigilancia ocupacional como mecanismos esenciales para reducir la incidencia de enfermedades y accidentes laborales.

Recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS)

Desde la perspectiva de Manyeneng et al. (2024) se han establecido lineamientos orientados a la protección de la salud de los trabajadores expuestos a contaminantes ambientales, enfatizando la necesidad de controlar la calidad del aire en los entornos laborales. Estas orientaciones priorizan la reducción de la exposición a material particulado mediante la implementación de medidas preventivas, monitoreo ambiental continuo y fortalecimiento de los sistemas de vigilancia sanitaria.

En este contexto, Muñoz et al. (2020) asimismo, se promueve la adopción de estrategias integrales de salud pública ocupacional basadas en la evidencia científica, con el objetivo de prevenir enfermedades respiratorias asociadas a la exposición prolongada a agentes nocivos. Estas acciones incluyen la promoción de entornos laborales saludables, el uso de tecnologías de control de contaminantes y la educación preventiva del personal expuesto.

Estudio de casos

De acuerdo con Ponce et al. (2024) en su investigación, breve análisis de la salud ocupacional en la minería chilena, El estudio analizó los factores de riesgo presentes en el personal minero y describió los efectos físicos y psicológicos asociados a las condiciones laborales, los cuales afectaron significativamente la calidad de vida de los trabajadores. Se identificó que la exposición a polvo en suspensión, humos de soldadura, vibraciones, levantamiento de cargas pesadas, radiación ionizante, ruido excesivo y factores psicosociales como el estrés y la depresión estuvieron relacionados con el desarrollo de enfermedades ocupacionales como silicosis, daño musculoesquelético, pérdida auditiva, trastornos del sueño y alteraciones emocionales severas. El estudio concluyó que la prevención de estas patologías dependió en gran medida de la implementación de medidas de seguridad laboral y del compromiso



institucional de las empresas para garantizar condiciones de trabajo seguras y apoyo psicológico adecuado.

Conforme a lo planteado por Zamora et al. (2024) En su investigación, Exposición a sílice de mineros en altitud. Dosis inhalada, método de evaluación en condición de hipobaría, El estudio evaluó la exposición a sílice en mineros chilenos que trabajaban en altura, con el propósito de comparar distintas metodologías de medición y determinar el método más adecuado para identificar trabajadores en riesgo. Se analizaron 46 mineros que laboraban a 3000 metros sobre el nivel del mar bajo un sistema de turnos de 12 horas diarias durante 4 días consecutivos, seguidos de 4 días de descanso, realizándose mediciones de concentración de sílice en sus respectivos puestos de trabajo. Finalmente, se concluyó que el método que consideró el volumen minuto y la dosis inhalada resultó más preciso y seguro para determinar el grupo de mineros expuestos a sílice en condiciones de gran altitud.

2. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la presente investigación se adoptó la revisión sistemática de la literatura como método principal, con el propósito de identificar, seleccionar, evaluar y sintetizar de manera rigurosa la evidencia científica disponible sobre la exposición al polvo mineral en la minería subterránea y sus efectos en la salud respiratoria de los trabajadores. Este enfoque metodológico permitió integrar los hallazgos de investigaciones empíricas y contribuciones teóricas relevantes para comprender los fundamentos conceptuales, ambientales y ocupacionales asociados a la generación y dispersión de material particulado en los entornos mineros.

La búsqueda bibliográfica se llevó a cabo entre enero, febrero y marzo de 2026 en las bases de datos Scopus, Web of Science y SciELO, seleccionadas por su reconocimiento internacional, rigurosidad científica y amplia cobertura de publicaciones relacionadas con la salud ocupacional, la minería y las ciencias ambientales. La estrategia de búsqueda se diseñó mediante el uso de operadores booleanos (AND y OR), combinando términos en español e inglés vinculados con el objeto de estudio. La ecuación de búsqueda empleada fue la siguiente: ("polvo mineral" OR "mineral dust") AND ("minería subterránea" OR "underground mining") AND ("salud respiratoria" OR "respiratory health") AND ("trabajadores mineros" OR "mine workers"). En cada base de datos se realizaron ajustes



específicos en la sintaxis de la ecuación de búsqueda, respetando los criterios de indexación y recuperación de información propios de cada plataforma, sin alterar el significado conceptual de los descriptores utilizados, con el fin de garantizar una identificación exhaustiva y pertinente de la evidencia científica relacionada con el impacto operativo de la exposición a polvo mineral en la salud respiratoria de los trabajadores en minería subterránea. Los criterios de inclusión consideraron artículos científicos originales, revisiones sistemáticas y estudios observacionales publicados entre 2020 y 2026, disponibles en texto completo, redactados en español o inglés e indexados en las bases de datos seleccionadas. Asimismo, se incluyeron investigaciones cuyo contenido abordara la exposición ocupacional al polvo mineral en minería subterránea, sus efectos sobre la salud respiratoria de los trabajadores, los factores de riesgo asociados, las enfermedades respiratorias de origen laboral, las medidas de prevención y control, así como los impactos operativos derivados de la exposición a material particulado en los entornos mineros.

Se excluyeron documentos duplicados, capítulos de libros, tesis, actas de congresos, editoriales, cartas al editor y publicaciones que no hubieran sido sometidas a revisión por pares. Del mismo modo, se descartaron aquellos estudios que, aunque abordaban aspectos relacionados con la minería o la salud ocupacional, no analizaban de manera específica la exposición al polvo mineral ni su relación con la salud respiratoria de los trabajadores en minería subterránea.

Durante las etapas iniciales del proceso de revisión sistemática se identificaron 110 registros bibliográficos en las bases de datos Scopus, Web of Science y SciELO, relacionados con la exposición ocupacional al polvo mineral en minería subterránea y sus implicaciones en la salud respiratoria de los trabajadores. Posteriormente, tras la eliminación de registros duplicados y la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos, se seleccionaron 70 estudios científicos para el análisis. Esta muestra permitió consolidar una base de evidencia actualizada sobre los efectos de la exposición al material particulado respirable en los entornos mineros subterráneos, así como sobre los principales factores que condicionan el riesgo ocupacional. El análisis de los estudios seleccionados permitió identificar que variables como la concentración de polvo respirable, la composición mineralógica de las partículas, el tiempo acumulado de exposición, las condiciones de ventilación de las labores subterráneas y el uso adecuado de equipos de protección



respiratoria constituyen factores determinantes en el deterioro de la salud respiratoria de los trabajadores.

En esta etapa se evaluaron 26 artículos científicos mediante criterios metodológicos rigurosos, considerando la calidad del diseño de investigación, la solidez de la fundamentación teórica, la coherencia metodológica y la pertinencia de los resultados con respecto al objetivo del estudio. Asimismo, se valoró la contribución de cada investigación al análisis de variables relacionadas con la concentración de polvo respirable, las condiciones de ventilación en labores subterráneas, la eficacia de los equipos de protección respiratoria, la vigilancia de la salud ocupacional y las estrategias de control de la exposición. Como resultado del proceso de selección, 20 estudios cualitativos fueron incorporados, permitiendo identificar y comparar los principales enfoques sobre los factores de riesgo respiratorio, las enfermedades pulmonares de origen ocupacional y las medidas de prevención implementadas en la minería subterránea. De manera complementaria, 6 investigaciones cuantitativas conformaron el análisis, aportando evidencia sobre la asociación entre la exposición al polvo mineral respirable y la incidencia de patologías como la silicosis, la neumoconiosis, la bronquitis crónica y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica. Estos hallazgos permitieron comprender el impacto de este riesgo ocupacional no solo sobre la salud de los trabajadores, sino también sobre el desempeño operativo, la productividad y las condiciones de seguridad en las operaciones de minería subterránea.

Como resultado del proceso de selección, 44 estudios fueron excluidos por no cumplir con los criterios de inclusión establecidos, presentar duplicidad, carecer de revisión por pares o no abordar de manera específica la relación entre la exposición al polvo mineral y la salud respiratoria de los trabajadores en minería subterránea. La aplicación rigurosa de estos criterios permitió garantizar la calidad metodológica, la pertinencia temática y la confiabilidad de la evidencia científica considerada para el desarrollo de la presente revisión sistemática.

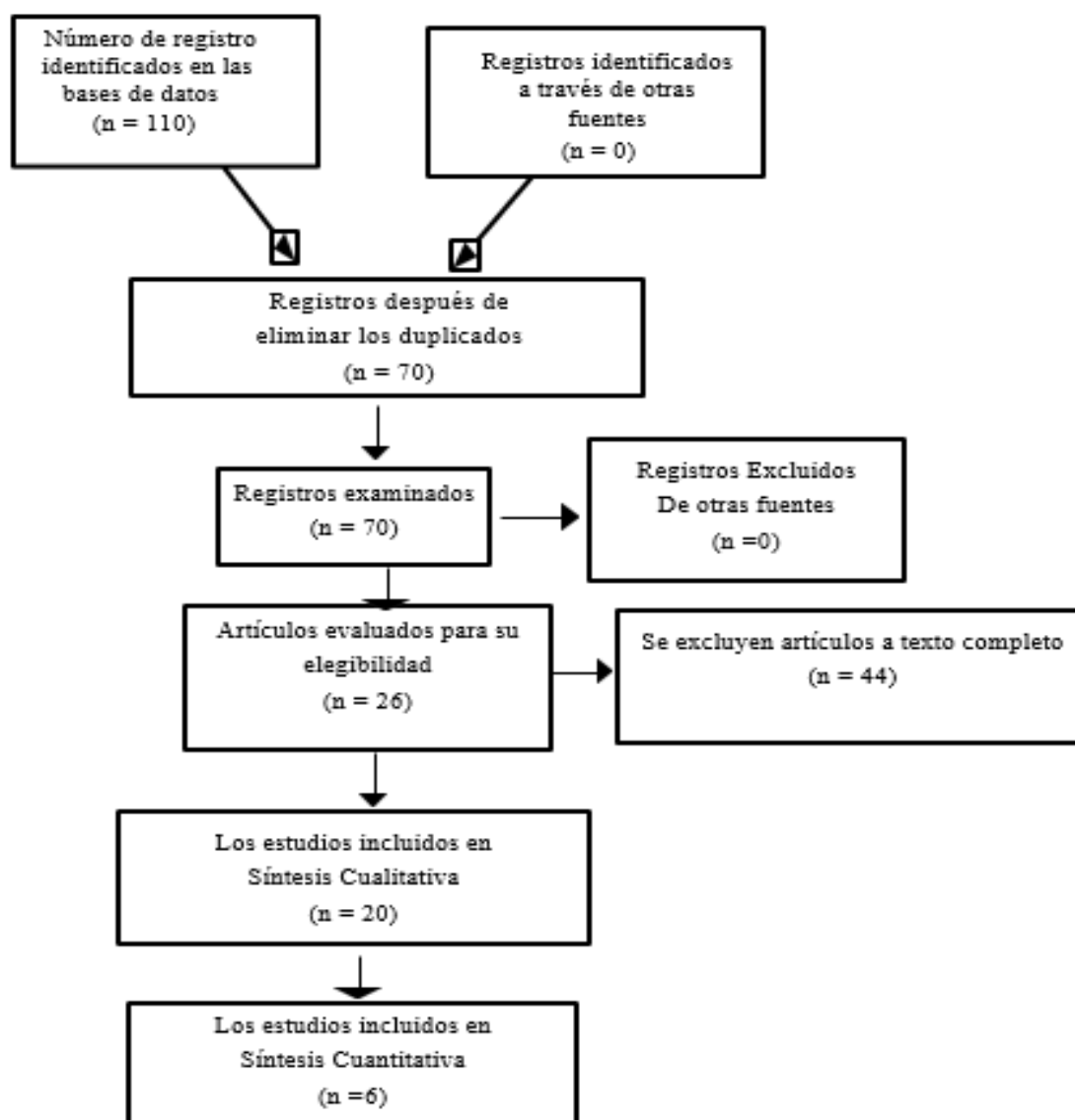
La presente investigación adoptó la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) como marco metodológico para el desarrollo de la revisión sistemática de la literatura sobre el impacto de la exposición al polvo mineral en la salud respiratoria de los trabajadores de minería subterránea. La aplicación de este protocolo permitió desarrollar un proceso estructurado, transparente y reproducible para la



identificación, selección, evaluación y síntesis de la evidencia científica disponible, garantizando la inclusión de estudios con rigor metodológico y alta pertinencia respecto al objeto de estudio.

Figura 1

Método Prisma



Nota. Descripción del proceso de cribado a través del método PRISMA

3. RESULTADOS

Los resultados se obtuvieron a partir del análisis de los 26 estudios científicos incluidos en la revisión sistemática. A partir de la evidencia recopilada se identificaron los principales



hallazgos relacionados con los factores de exposición al polvo mineral respirable, sus efectos sobre la salud respiratoria y las estrategias preventivas reportadas en la literatura científica.

Tabla 2:

Resultados

Categoría analizada	Hallazgos identificados en los estudios	Interpretación de los resultados
Exposición al polvo mineral respirable	La mayoría de los estudios reportó niveles elevados de exposición al polvo respirable durante actividades de perforación, excavación, trituración y transporte de mineral.	La exposición continua fue el hallazgo más frecuente y se identificó como el principal factor de riesgo ocupacional.
Composición del polvo mineral	Los estudios identificaron que la presencia de sílice cristalina respirable fue el componente más asociado con alteraciones respiratorias, seguida del polvo de carbón y mezclas minerales.	La composición del polvo influye directamente en la magnitud del daño pulmonar observado.
Enfermedades respiratorias asociadas	Los estudios reportaron con mayor frecuencia casos de silicosis, neumoconiosis, EPOC y bronquitis crónica en trabajadores expuestos durante períodos prolongados.	Existió consenso en que estas patologías se relacionan con la exposición acumulativa al polvo mineral.
Factores que incrementan el riesgo	La mayoría de las investigaciones señaló que la ventilación deficiente, la alta concentración de partículas, la antigüedad laboral y el uso inadecuado del equipo de protección aumentan el riesgo respiratorio.	Los factores ambientales y laborales potencian los efectos negativos de la exposición ocupacional.
Evaluación de la exposición	Los estudios utilizaron principalmente monitoreo ambiental, muestreo personal y evaluaciones de calidad del aire para determinar la concentración de partículas respirables.	Estas herramientas permitieron identificar áreas de mayor exposición y establecer niveles de riesgo.
Evaluación de la salud respiratoria	La espirometría y otros exámenes de función pulmonar fueron los métodos más empleados para valorar el estado respiratorio de los trabajadores.	Las evaluaciones evidenciaron una disminución progresiva de la capacidad pulmonar en trabajadores con mayor tiempo de exposición.
Estrategias de prevención	La mayor parte de los estudios informó que la implementación de sistemas de ventilación, uso adecuado de respiradores, monitoreo continuo y	Las medidas preventivas fortalecieron la seguridad ocupacional y disminuyeron el riesgo de enfermedades respiratorias.



Categoría analizada	Hallazgos identificados en los estudios	Interpretación de los resultados
Gestión de la seguridad ocupacional	programas de capacitación redujo la exposición al polvo respirable.	La integración de medidas técnicas y administrativas favoreció una mejor gestión de la salud laboral en minería subterránea.
	Diversos estudios destacaron la importancia de la vigilancia médica periódica y del cumplimiento de protocolos de seguridad para prevenir enfermedades ocupacionales.	

Fuente: Elaboración propia

Nota. La síntesis de los estudios analizados evidenció que la exposición al polvo mineral respirable constituyó el hallazgo más recurrente, asociándose de manera consistente con el desarrollo de enfermedades respiratorias ocupacionales, especialmente silicosis, neumoconiosis, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y bronquitis crónica. Asimismo, la literatura revisada mostró que factores como la presencia de sílice cristalina, la exposición prolongada, las deficiencias en la ventilación y el uso inadecuado de equipos de protección respiratoria incrementan el riesgo para la salud de los trabajadores.

Tabla 3

Matriz de estudios incluidos en la revisión sistemática

Autor(es)	Año	Tipo de estudio	Objetivo del estudio	Hallazgos principales	Aporte a la investigación
Alvarado	2021	Estudio aplicado	Evaluar equipos de protección para minería subterránea.	Los equipos de protección reducen el riesgo durante las labores subterráneas.	Sustenta la importancia de la protección respiratoria como medida preventiva.
Aquino et al.	2022	Estudio descriptivo	Analizar la evolución de las enfermedades ocupacionales en minería.	Predominaron las enfermedades respiratorias relacionadas con la exposición al polvo.	Evidencia la necesidad de fortalecer la vigilancia de la salud ocupacional.
Flores	2025	Estudio de caso	Analizar la acumulación de polvo y su efecto en trabajadores mineros.	La acumulación de polvo se relacionó con mayor frecuencia de síntomas respiratorios.	Refuerza la relación entre exposición al polvo y salud respiratoria.



Autor(es)	Año	Tipo de estudio	Objetivo del estudio	Hallazgos principales	Aporte a la investigación
Galvis et al.	2022	Estudio retrospectivo	Analizar emergencias y fatalidades en minería subterránea.	Las deficiencias en seguridad incrementaron la ocurrencia de accidentes.	Relaciona la gestión del riesgo con el desempeño operativo.
Gavilán et al.	2020	Estudio analítico	Evaluar la dispersión de partículas provenientes de residuos mineros.	La dispersión incrementó el riesgo ambiental y ocupacional.	Aporta evidencia sobre la propagación del material particulado.
López et al.	2020	Estudio transversal	Evaluar la percepción de salud de trabajadores mineros.	Los trabajadores reportaron afectaciones respiratorias y físicas.	Complementa la evidencia sobre los efectos del trabajo minero en la salud.
Manyeneng et al.	2024	Estudio cualitativo	Analizar la atención a trabajadores con enfermedades crónicas.	Se identificaron dificultades en el seguimiento del tratamiento.	Destaca la importancia del seguimiento médico ocupacional.
Mazariegos et al.	2023	Estudio epidemiológico	Determinar la prevalencia de enfermedades respiratorias en comunidades mineras.	Se observaron síntomas respiratorios frecuentes asociados a la actividad minera.	Refuerza la evidencia sobre el impacto respiratorio de la minería.
Melgarejo et al.	2021	Revisión	Describir técnicas de caracterización mineral.	La composición mineral influye en el comportamiento del polvo.	Sustenta la caracterización del polvo mineral como variable de estudio.
Naranjo	2021	Investigación aplicada	Analizar la seguridad y salud ocupacional en minería aurífera.	Se evidenció la necesidad de fortalecer los programas preventivos.	Respalda la implementación de sistemas de gestión en seguridad ocupacional.
National Association of Safety	2023	Documento técnico.	Describir las normas de OSHA para el control de la	Destacó la necesidad de controlar la exposición a la	Sustenta la importancia de aplicar medidas preventivas para



Autor(es)	Año	Tipo de estudio	Objetivo del estudio	Hallazgos principales	Aporte a la investigación
Professionals (NASP)			exposición a la sílice cristalina en el trabajo	sílice mediante monitoreo, ventilación y uso de equipos de protección	reducir el riesgo de enfermedades respiratorias en la minería subterránea
Olazábal	2024	Estudio aplicado	Proponer mejoras en prevención de riesgos laborales.	Las estrategias preventivas disminuyen la exposición ocupacional.	Fundamenta las medidas de prevención y control.
Organización Internacional del Trabajo (OIT)	2023	Documento técnico	Establecer directrices para fortalecer la inspección del trabajo y la seguridad laboral.	La inspección laboral favorece la prevención de riesgos y el cumplimiento de las normas de seguridad y salud en el trabajo.	Sustenta la importancia de la inspección laboral como estrategia para prevenir riesgos ocupacionales en la minería subterránea.
Pertuz et al.	2023	Revisión sistemática	Analizar los efectos respiratorios de agentes químicos laborales.	La exposición prolongada incrementa el riesgo de enfermedades respiratorias.	Sustenta la relación entre exposición laboral y daño pulmonar.
Pescador et al.	2021	Revisión documental	Analizar los efectos de la minería sobre la salud.	Se destacó la alta incidencia de neumoconiosis y silicosis.	Fortalece el marco conceptual sobre enfermedades respiratorias ocupacionales.
Ponce et al.	2024	Revisión	Analizar la salud ocupacional en la minería chilena.	Se identificó la necesidad de fortalecer la prevención de riesgos.	Aporta experiencias internacionales aplicables al sector minero.
Ramírez	2021	Revisión científica	Analizar la silicosis como enfermedad ocupacional.	La exposición a sílice constituye el principal factor de riesgo.	Fundamenta el análisis de la silicosis en trabajadores mineros.



Autor(es)	Año	Tipo de estudio	Objetivo del estudio	Hallazgos principales	Aporte a la investigación
Rojas et al.	2025	Estudio de caso	Analizar prácticas de sostenibilidad en minas de carbón.	La gestión sostenible mejora la seguridad y productividad.	Relaciona la seguridad ocupacional con la sostenibilidad operativa.
Tomasina et al.	2025	Revisión epidemiológica	Revisar la neumoconiosis en trabajadores mineros.	Persisten casos asociados a exposición prolongada al polvo mineral.	Refuerza la evidencia sobre enfermedades pulmonares ocupacionales.
Torres et al.	2022	Estudio descriptivo	Evaluar riesgos por agentes químicos en minas de carbón.	Se identificaron múltiples riesgos ocupacionales simultáneos.	Complementa el análisis de los factores de riesgo en minería subterránea.
Varona et al.	2021	Estudio transversal	Evaluar la exposición al polvo de carbón y sílice en minería subterránea.	Se registraron niveles elevados de polvo respirable y sílice en los frentes de trabajo.	Constituye una de las principales evidencias sobre la exposición al polvo mineral en minería subterránea.
Vera	2020	Estudio documental	Analizar la gestión del sector minero desde el desarrollo sostenible.	La gestión integral favorece condiciones laborales más seguras.	Vincula la seguridad ocupacional con la sostenibilidad minera.
Zamora et al.	2024	Estudio analítico	Evaluar la exposición a sílice en trabajadores mineros de altura.	La dosis inhalada aumenta el riesgo de enfermedades respiratorias.	Respalda la relación entre exposición a sílice y deterioro pulmonar.

Fuente: Elaboración propia a partir de la revisión de literatura científica

Nota. La presente matriz resume las principales características de los estudios considerados en la revisión sistemática, incluyendo los autores, el año de publicación, el tipo de estudio, el objetivo, los hallazgos más relevantes y su aporte al desarrollo de la investigación. Esta información permitió identificar las principales tendencias de la evidencia científica sobre la



exposición al polvo mineral en minería subterránea y su impacto en la salud respiratoria de los trabajadores, facilitando el análisis comparativo y la integración de los resultados para la construcción de la síntesis de la literatura.

Del total de estudios analizados, predominó la evidencia cualitativa, complementada por investigaciones cuantitativas que fortalecieron el análisis del problema desde diferentes enfoques metodológicos. En conjunto, los estudios mostraron resultados consistentes respecto a la relación entre la exposición al polvo mineral respirable y el desarrollo de enfermedades respiratorias ocupacionales, destacando la importancia de implementar estrategias preventivas integrales para reducir los riesgos asociados a la actividad minera subterránea.

4. DISCUSIÓN

Los hallazgos de la presente revisión sistemática evidencian que la minería subterránea constituye uno de los entornos laborales con mayor complejidad en materia de riesgos ocupacionales, debido a la interacción simultánea de agentes físicos, químicos y mecánicos presentes durante las actividades extractivas. Este resultado coincide con lo reportado por Galvis et al. (2022), quienes sostienen que las condiciones operativas de este tipo de minería incrementan la probabilidad de emergencias y accidentes laborales. Asimismo, Naranjo (2021) y Ponce et al. (2024) destacan que el fortalecimiento de los sistemas de seguridad y salud ocupacional representa una estrategia fundamental para reducir estos riesgos. No obstante, los estudios revisados difieren en el énfasis otorgado a los factores que originan dichos riesgos, ya que algunos priorizan las condiciones técnicas de la operación minera, mientras que otros atribuyen mayor relevancia a la gestión organizacional y al cumplimiento de las normas de seguridad. Estas diferencias evidencian que el riesgo ocupacional en minería subterránea posee un carácter multifactorial y que aún son limitadas las investigaciones que analicen de forma integrada la interacción entre las condiciones operativas, los factores ambientales y las estrategias de gestión preventiva.

Respecto a la exposición al polvo mineral respirable, la evidencia revisada muestra un amplio consenso al identificarla como el principal factor asociado al desarrollo de enfermedades respiratorias de origen ocupacional. Estos resultados concuerdan con Varona et al. (2021), quienes reportaron elevados niveles de exposición al polvo de carbón y sílice, así como con



Zamora y Jara (2024), quienes demostraron que la exposición continua a sílice respirable incrementa la dosis inhalada y el riesgo de patologías pulmonares. De igual manera, Ramírez (2021) identifica a la silicosis como una de las principales enfermedades respiratorias en trabajadores expuestos a sílice cristalina, mientras que Aquino et al. (2022) documentan un incremento sostenido de enfermedades ocupacionales en el sector minero. Sin embargo, algunos estudios muestran diferencias en la magnitud del riesgo reportado, las cuales pueden atribuirse a variaciones en el tipo de mineral explotado, el tiempo de exposición, las concentraciones de polvo respirable y los métodos utilizados para evaluar la exposición ocupacional. En este contexto, la presente revisión pone de manifiesto la necesidad de establecer criterios estandarizados para la medición de la exposición al polvo mineral, lo que permitiría generar resultados más comparables entre diferentes escenarios mineros.

En cuanto a las características del material particulado, los estudios analizados coinciden en señalar que el tamaño y la composición mineralógica de las partículas determinan el grado de afectación del sistema respiratorio. Los planteamientos de Flores (2025), Melgarejo et al. (2021) y Gavilán et al. (2020) respaldan esta relación al destacar que las partículas respirables de menor diámetro y con mayor contenido de sílice presentan un mayor potencial de toxicidad. No obstante, la literatura revisada evidencia que la mayoría de las investigaciones evalúan estos factores de manera independiente, existiendo escasos estudios que analicen simultáneamente la influencia del tamaño de partícula, la composición química y las condiciones de ventilación sobre la aparición de enfermedades respiratorias. Este vacío limita una comprensión integral del problema y pone de relieve la necesidad de desarrollar investigaciones multidisciplinarias que permitan explicar con mayor precisión los mecanismos asociados al daño pulmonar en trabajadores de minería subterránea.

Finalmente, la revisión confirma que la implementación de sistemas de ventilación adecuados, el uso correcto de equipos de protección respiratoria, la vigilancia permanente de la salud ocupacional y los programas de capacitación constituyen las principales estrategias para reducir la exposición al polvo respirable y prevenir enfermedades ocupacionales. Estos resultados son consistentes con lo señalado por Olazábal (2024), Alvarado (2021) y Pertuz et al. (2023), quienes coinciden en que las medidas preventivas fortalecen la seguridad y disminuyen la incidencia de patologías respiratorias. Sin embargo, varios estudios advierten que la efectividad de estas estrategias depende del mantenimiento continuo de los sistemas



de ventilación, del cumplimiento de los protocolos de seguridad y del compromiso institucional para garantizar su aplicación permanente. Asimismo, se identificó una limitada disponibilidad de investigaciones que evalúen el impacto de estas medidas a largo plazo mediante estudios longitudinales, lo que representa una oportunidad para futuras investigaciones orientadas a valorar la sostenibilidad y efectividad de los programas de prevención en minería subterránea.

5. CONCLUSIÓN

La presente revisión sistemática permitió cumplir el objetivo planteado al analizar la relación entre la exposición al polvo mineral y el riesgo de enfermedades respiratorias en trabajadores de minería subterránea. La evidencia científica confirmó que este entorno laboral presenta una elevada complejidad operativa, donde la exposición a material particulado respirable constituye uno de los principales factores que afectan la salud ocupacional y la seguridad de los trabajadores.

Asimismo, se concluye que el potencial patogénico del polvo mineral depende de sus características físico-químicas, especialmente del tamaño de las partículas y del contenido de sílice cristalina, factores que incrementan la probabilidad de desarrollar enfermedades respiratorias de origen ocupacional como la silicosis, la neumoconiosis y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica.

Finalmente, la revisión evidenció que la reducción del riesgo respiratorio requiere una gestión integral basada en sistemas adecuados de ventilación, monitoreo ambiental, vigilancia de la salud ocupacional, uso correcto de equipos de protección respiratoria y cumplimiento de la normativa vigente. Además, se recomienda promover investigaciones con metodologías estandarizadas y estudios longitudinales que permitan evaluar la efectividad de las estrategias preventivas implementadas en diferentes contextos de minería subterránea.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, L. (2021). *Selección de autorrescatador minero para las operaciones de minería subterránea a gran escala en Ecuador*. Facultad de Ciencias del Trabajo y del Comportamiento Humano.
<https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/4435/1/Trabajo%20Final%20LUIS%20DANIEL%20ALVARADO%20GONZALEZ.pdf>



- Aquino, C., Huamán, K., & Jiménez, F. (2022). Enfermedades ocupacionales en minería en el Perú, 2011–2020. *Revista de la Asociación Española de Especialistas en Medicina del Trabajo*. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S3020-11602022000300004
- Flores, L. (2025). *Análisis de la acumulación de polvo y la afección en la salud ocupacional de los trabajadores de la compañía minera Alpayana S. A. C., Lima 2023*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. <https://repositorio.unjbg.edu.pe/server/api/core/bitstreams/d92c36eb-6267-431d-abbf-823f9ad5ee55/content>
- Galvis, Y., Oviedo, N., & Franco, G. (2022). Emergencias y fatalidades mineras subterráneas en Colombia. *Boletín de Ciencias de la Tierra*. <https://doi.org/10.15446/rbct.n50.95733>
- Gavilán, I., Ladino, L., Franco, E., & Juárez, J. (2020). Determinación de factores involucrados en la valoración del riesgo potencial asociado a la dispersión atmosférica de jales mineros y a su ingestión. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. <https://doi.org/10.20937/rica.2020.36.53384>
- López, C., Uribe, J., & Cuesta, J. (2020). Impacto percibido en la salud de los mineros. *Revista de Salud Pública*. <https://doi.org/10.15446/rsap.V21n3.81048>
- Manyeneng, L., & Pilusa, M. (2024). Experiencias de enfermeras ocupacionales con respecto a mineros con enfermedades crónicas que no cumplen con el tratamiento. *Health SA Gesondheid*. <https://doi.org/10.4102/hsag.v29i0.2783>
- Mazariegos, B., González, G., Gutiérrez, V., Álvarez, G., & Salvatierra, E. (2023). Prevalencia de enfermedades y síntomas respiratorios en colonias anfitrionas de mineras pétreas en San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México. *Población y Salud en Mesoamérica*. <http://dx.doi.org/10.15517/psm.v20i2.51518>
- Melgarejo, J., Proenza, J., Galí, S., & Llovet, X. (2021). Técnicas de caracterización mineral y su aplicación en exploración y explotación minera. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-33222010000100002



- Muñoz, C., Rojas, A., & Silencio, A. (2020). Significado de la salud al vivir en una ciudad minera: Estudio cualitativo en profesionales de salud. *Anales de la Facultad de Medicina*. <https://doi.org/10.15381/anales.v81i2.17428>
- Naranjo, M. (2021). *Seguridad y salud ocupacional en la pequeña minería aurífera*. Universidad Regional Autónoma de los Andes. <https://dspace.uniandes.edu.ec/handle/123456789/8356>
- Olazábal, E. (2024). Mejora en la prevención de riesgos laborales en seguridad y salud ocupacional: Caso empresa metalmecánica en una unidad minera. *Industrial Data*. <https://doi.org/10.15381/idata.v27i1.25643>
- Organización Internacional del Trabajo. (2023). *Directrices sobre los principios generales de la inspección del trabajo*. <https://www.ilo.org/es/publications/directrices-sobre-los-principios-generales-de-la-inspecci%C3%B3n-del-trabajo-0>
- Pertuz, Y., Rebolledo, M., Vásquez, H., & Gil, M. (2023). Efectos para la salud respiratoria de los trabajadores que usan sustancias químicas en su medio laboral: Una revisión sistemática. *Revista Salud Uninorte*. <https://doi.org/10.14482/sun.38.2.616.2>
- Pescador, B., & Roa, L. (2021). Dualidad, la locomotora minera vs. el pulmón negro. *Revista Med*. <https://doi.org/10.18359/rmed.2645>
- Ponce, E., Saldías, D., Ponce, M., Ponce, C., Tosetti, F., León, D., & Barrio, L. (2024). Breve análisis de la salud ocupacional en la minería chilena. *ARS Medica*. <http://dx.doi.org/10.11565/arsmed.v49i4.2088>
- Proaño, S. (2021). *Evaluación de riesgos para la salud y seguridad de los trabajadores originados por el polvo de madera en el área de zaranda y molino de cuchillas de una empresa que se dedica a la elaboración de tableros aglomerados ubicada en el cantón Quito*. Universidad Internacional SEK. <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/4462/1/Trabajo%20de%20Titulaci%C3%B3n%20-%20Stephanie%20Proa%C3%B1o.pdf>
- National Association of Safety Professionals. (2023). *Normas de OSHA para la sílice cristalina*. <https://www.naspweb.com/blog/osh-standard-for-crystalline-silica/>
- Ramírez, A. (2021). Silicosis. *Anales de la Facultad de Medicina*. https://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-55832013000100010



- Ramos, M. (2021). Enfoque para justificar la promoción y prevención como medios en la erradicación del sedentarismo desde el ámbito laboral. *Salud de los Trabajadores*. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01382007000200006
- Rojas, M., Cárdenas, G., & Gamboa, P. (2025). Análisis de las prácticas de sostenibilidad y gestión en minas de carbón: Caso municipio de Sogamoso, Boyacá. *Revista de Economía del Caribe*. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2011-21062025000200010
- Tomasina, F., & Stolovas, N. (2025). Neumoconiosis en el Uruguay: Revisión de los estudios epidemiológicos y casuística. *Anales de la Facultad de Medicina*. <https://doi.org/10.25184/anfamed2025v12n2a3>
- Torres, F., & Murcia, D. (2022). Riesgo por exposición a agentes químicos y atmósferas explosivas en minas de carbón de Tópaga, Colombia. *Entramado*. <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.7108>
- Varona, M., Ibáñez, M., Briceño, L., Groot, H., Narváez, D., Palma, M., & Torres, C. (2021). Evaluación de la exposición al polvo de carbón y de sílice en sitios de minería subterránea en tres departamentos de Colombia. *Biomédica*. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v38i4.4183>
- Vera, L. (2020). Interpretación de los problemas humanos de la gestión del sector minero en Colombia desde una perspectiva del desarrollo sostenible. *Suma de Negocios*. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-910X2011000100007
- Zamora, M., & Jara, R. (2024). Exposición a sílice de mineros en altitud: Dosis inhalada, método de evaluación en condición de hipobaría. *Archivos de Prevención de Riesgos Laborales*. <https://dx.doi.org/10.12961/aprl.2024.27.01.04>

Conflicto de Intereses: Los autores afirman que no existen conflictos de intereses en este estudio y que se han seguido éticamente los procesos establecidos por esta revista. Además, aseguran que este trabajo no ha sido publicado parcial ni totalmente en ninguna otra revista.

FINANCIAMIENTO

Los autores no recibieron financiamiento para el desarrollo de esta investigación.



CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA:

Nombres de autores e iniciales: Cristian Zenon Paz Zevallos (CZPZ), Carmen Noelia Huaco Ampuero (CNHA), María del Pilar Paz Zevallos (MPPZ), Sandro Charles Paz Zevallos (SCPZ).

1. Conceptualización: (CZPZ)
2. Curación de datos: (CZPZ)
3. Análisis formal: (CZPZ)
4. Adquisición de fondos: (CZPZ)
5. Investigación: (CNHA)
6. Metodología: (CNHA)
7. Administración del proyecto: (CNHA)
8. Recursos: (CNHA)
9. Software: (MPPZ)
10. Supervisión: (MPPZ)
11. Validación: (MPPZ)
12. Visualización: (SCPZ)
13. Redacción – Borrador original: (SCPZ)
14. Redacción – Revisión y edición: (SCPZ)

