	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS		CÓDIGO	FO-GS-15	
			VERSIÓN	02	
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN			FECHA	03/04/2017
				PÁGINA	1 de 1
ELABORÓ		REVISÓ	APROBÓ		
Jefe División de Biblioteca		Equipo Operativo de Calidad	Líder de Calidad		

### RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES): NOMBRES Y APELLIDOS COMPLETOS

NOMBRE(S) Yillis Alymar APELLIDOS: Moncada Gonzalez

NOMBRE(S): Hernando APELLIDOS: Navarro Pabón

FACULTAD: Ingenierías

PLAN DE ESTUDIOS: Ingeniería de Minas

DIRECTOR:

NOMBRE(S): Yarokcy Bernardo APELLIDOS: Bautista Uribe

TÍTULO DEL TRABAJO (MONOGRAFÍA): Medidas de Control de Enfermedades Laborales Generadas por la Exposición a Aguas Subterráneas en Minas de Carbón.

A nivel histórico la minería de carbón ha sido una actividad fundamental para el desarrollo económico de la humanidad, sin embargo esta labor se encuentra asociada con un alto riesgo debido a múltiples factores como la no elegibilidad del lugar de trabajo, la multiplicidad de los factores de riesgo estrechamente relacionados con la tecnología implementada en la explotación y las metodologías de trabajo, las condiciones propias de las minas o la exposición a aguas subterráneas contaminadas como parte del proceso de minería de carbón, el cual es el factor por profundizar en el presente documento, debido a su incidencia en riesgos para la salud a largo plazo que afectan al trabajador, lo cual muestra que se necesitan aplicar medidas de mitigación y control adecuados.

PALABRAS CLAVES: Minería, Control, Exposición, Enfermedades, Aguas Subterráneas.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 45

PLANOS: NO

CD ROOM: NO

ILUSTRACIONES: NO.

MEDIDAS DE CONTROL DE ENFERMEDADES LABORALES GENERADAS POR LA  
EXPOSICIÓN A AGUAS SUBTERRÁNEAS EN MINERÍA DE CARBÓN  
(MONOGRAFÍA)

YILLIS ALYMAR MONCADA GONZALEZ

HERNANDO NAVARRO PABÓN

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS

INGENIERÍA DE MINAS

SAN JOSÉ DE CUCUTA

2023

MEDIDAS DE CONTROL DE ENFERMEDADES LABORALES GENERADAS POR LA  
EXPOSICIÓN A AGUAS SUBTERRÁNEAS EN MINERÍA DE CARBÓN

Anteproyecto para optar por el título de Ingeniero de Minas

Director:

ESP. YAROKCY BERNARDO BAUTISTA URIBE

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS

INGENIERÍA DE MINAS

SAN JOSÉ DE CUCUTA

2023

**ACTA DE SUSTENTACION DE UN TRABAJO DE GRADO**

FECHA: Cúcuta, 8 de mayo de 2023

HORA: 6:30 p.m.

LUGAR: AUDITORIA DE MINAS EDIF TERREOS

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA DE MINAS

TITULO DE LA TESIS: "MEDIDAS DE CONTROL DE ENFERMEDADES LABORALES GENERADAS POR LA EXPOSICIÓN A AGUAS SUBTERRANEAS EN MINERIA DE CARBÓN".

JURADOS: Ing. GERMAN MIGUEL MENDEZ  
Ing. CARLOS ANDRES MARTINEZ  
Ing. ALBERTO SARMIENTO CASTRO

ENTIDAD: U. F. P. S.  
ENTIDAD: U. F. P. S.  
ENTIDAD: U. F. P. S.

DIRECTOR: Ing. YAROKCY BAUTISTA


NOMBRE DE LOS ESTUDIANTE	CODIGO	CALIFICACIÓN		
		NUMERO	LETRA	(A) (M) (L)
YILLIS ALYMAR MONCADA GONZALEZ	1181024	3.9	TRES, NUEVE	APROBADA
HERNANDO NAVARRO PABON	1181042	3.9	TRES, NUEVE	APROBADA

OBSERVACIONES:

FIRMA DE LOS JURADOS:



Vº. Bº.

  
COORDINADOR COMITÉ CURRICULAR

## Tabla de contenido

Lista de Tabla	7
Introducción	8
1. El problema	10
1.1 Título	10
1.2 Planteamiento del problema	10
1.3 Formulación del problema	11
1.4 Sistematización del problema	11
1.5 Objetivos	12
1.5.1 Objetivo general	12
1.5.2 Objetivos específicos	12
1.6 Justificación	12
2. Marco Referencial	14
2.1 Antecedentes	14
2.2 Bases Conceptuales y Teóricas	15
2.2.1 Salud ocupacional y seguridad	15
2.2.2 Peligro	16
2.2.3 Riesgo	17
2.2.4 Higiene y condiciones de trabajo	17
2.2.5 Minería subterránea	18
2.2.6 Ergonomía	18
2.2.7 Carga física	18
2.2.8 Carga estática	19
2.2.9 Carga dinámica	19

3. Marco Metodológico	21
3.1 Técnica de análisis	21
4. Desarrollo	22
4.1 Aguas subterráneas	22
4.1.1 Formación de aguas subterráneas	22
4.1.2 Calidad del agua en minería subterránea	22
4.1.3 Nocividad de las aguas subterráneas generadas por la minería	23
4.1.4 Canalización y desagüe	23
4.1.5 Sistemas disponibles para el tratamiento de aguas acidas	24
4.1.6 Efectos del agua subterránea en las labores mineras	26
4.2 Tipos de contaminantes presentes en las minas subterráneas de carbón	27
4.2.1 Contaminantes físicos del agua subterránea	27
4.2.2 Contaminantes químicos del agua subterránea	28
4.2.3 Contaminantes biológicos	29
4.3 Enfermedades laborales en la minería	30
4.4 Controles de fuente y de individuo para mitigar las enfermedades laborales derivadas del agua subterránea en la minería	31
4.5 Marco legal de la minería subterránea	33
4.5.1 Resolución 0312 de 2019: Gestión de aguas residuales en las actividades mineras	33
4.5.2 Decreto 1477 del 2014: Tabla de enfermedades laborales	33
4.5.3 Decreto 1886 de 2015: Normativa vigente en Colombia en el sector minero y del trabajo	34

5. Conclusiones

36

Bibliografía

38

## **Lista de Tabla**

Tabla 1. Técnicas de tratamiento potencialmente aplicables para los efluentes mineros 24



## Introducción

A nivel histórico la minería de carbón ha sido una actividad fundamental para el desarrollo económico y técnico de la humanidad, tanto así que gran parte de los bienes materiales que se usan, provienen de la transformación de productos naturales, es por esto que esta actividad se lleva a cabo en varios departamentos y municipios de un país como Colombia, donde este material sustenta la economía de muchas regiones del país gracias al potencial energético y al beneficio económico que supone su extracción y distribución (Riaño Solano et al., 2022).

Sin embargo, esta labor se encuentra asociada con un alto riesgo debido a múltiples factores como la no elegibilidad del lugar de trabajo, la multiplicidad de los factores de riesgo estrechamente relacionados con la tecnología implementada en la explotación y las metodologías de trabajo; las condiciones propias de las minas o la exposición a aguas subterráneas contaminadas como parte del proceso de minería de carbón, el cual es el factor por profundizar en el presente documento, debido a su incidencia en riesgos para la salud a largo plazo que afectan al trabajador, lo cual muestra que se necesitan aplicar medidas de mitigación y control adecuados (González et al., 2019).

Reconociendo la problemática relacionada con la contaminación de acuíferos, en Colombia diferentes organismos reguladores e investigadores han realizado aportes para mitigar los riesgos y afectaciones asociados a la exposición al agua subterránea contaminada (Morales Ruiz, 2020; Ruiz Duarte, 2022). Empero, es necesario profundizar y generar medidas que se adapten a las características propias del sector minero de carbón colombiano que logren mejorar los factores ambientales a los que se enfrentan los trabajadores.

Por lo que, considerando la problemática existente en el área, este trabajo presenta una revisión crítica del estado de conocimiento que explora y evalúa las medidas de control relacionadas con las afectaciones la salud de los profesionales en minería causada por la

exposición a acuíferos contaminados, revisando en profundidad la literatura existente, estudios de caso y propuestas de mitigación para así analizar la eficacia de las medidas implementadas e identificar áreas de mejora.

Esta investigación no solo busca presentar las medidas de control para enfermedades laborales en general, sino también dar respuesta a un área del contexto laboral minero que es poco abordada, como lo es la exposición de los mineros a aguas subterráneas en la minería de carbón, generando la necesidad de una asesoría técnica que permita un acercamiento más específico en relación al tema de medida y control de accidentes en enfermedades laborales mineras por medio de la exposición a sustancias subterráneas por larga duración en el proceso minero.

## **1. El problema**

### **1.1 Título**

Medidas de control de enfermedades laborales generadas por la exposición a aguas subterráneas en minería de carbón

### **1.2 Planteamiento del problema**

Es bien sabido que la minería de carbón es uno de los motores de la economía colombiana y pieza clave en el sector energético del país, presentando un impacto significativo y un crecimiento notable desde 1991 (Altahona Ortega et al., 2019). Empero, más allá de los grandes aportes que realiza esta actividad desde el punto de vista económico, los riesgos ambientales y de salud laboral de los mineros se reflejan en afectaciones al ecosistema, especialmente en la contaminación de acuíferos subterráneos (Chia Pinto, 2020; Paz Apraez & Zambrano Ojeda, 2022).

Esto agudiza los riesgos inherentes de la profesión de la minería, ya que en la profesión minera, a diferencia de otras actividades industriales, la localización del trabajo no es elegible por parte del trabajador, lo que hace que sus tareas y condiciones sean en gran parte desfavorables. Si bien el ministerio de trabajo, comprendiendo la diversidad de factores que pueden repercutir de forma negativa en la labor de los mineros, ha planteado la generación y sistematización de información que tiene como principal fin el poder recopilar datos estadísticos que contabilización y visibilizan los accidentes laborales, prevalencia de enfermedades y seguimiento de afiliación en temas de seguridad social.

Según cifras asociadas con la accidentalidad laboral, se pudo demostrar que para el año 2014 en el país se presentaron 6.09 fatalidades por cada 100.000 trabajadores, algo que demuestra la necesidad de procesos de supervisión y acompañamiento que tengan como

principal fin mitigar o eliminar todas aquellas falencias asociadas con un inadecuado control en temas de seguridad y salud en el trabajo (J. A. Cárdenas et al., 2017).

Además, es importante resaltar lo presentado en el censo minero departamental, el cual fue realizado por el ministerio de minas y energía, en donde se encontró que el 63% de las unidades de producción minera tenían carencias en respaldo de un título minero, lo cual deja entrever que las condiciones laborales que ofrecen no son las más adecuadas en temas de contratación, pago de seguridad social de los trabajadores y demás aspectos requeridos por la legislación laboral del país, a su vez es importante resaltar que estas carencias dan respuesta al gran índice de accidentalidad en el sector minero, tanto así que existe seis veces un mayor riesgo de accidentalidad en esta labor que otras actividades económicas del país sin contar que en temas de enfermedades laborales duplica la media nacional (M. Cárdenas et al., 2012).

Considerando estas estadísticas, se hace necesario comprender exhaustivamente los riesgos laborales específicos asociados a la minería de carbón en Colombia que afectan a los trabajadores y las medidas de control existentes en este contexto, debido a que existe la necesidad de esclarecer y recopilar las directrices vigentes que puedan ser adaptadas y que mitiguen eficazmente estas problemáticas.

### **1.3 Formulación del problema**

¿Cuáles son las medidas de control de enfermedades laborales generadas por la exposición a aguas subterráneas en minería de carbón?

### **1.4 Sistematización del problema**

¿Cuáles son las enfermedades profesionales específicas causadas por la exposición a las aguas subterráneas en la minería del carbón en Colombia?

¿Cuáles son las principales fuentes y vías de contaminación de las aguas subterráneas en las explotaciones mineras de carbón?

¿Cómo contribuyen las características de las explotaciones mineras de carbón colombianas al riesgo de enfermedades profesionales relacionadas con la exposición a las aguas subterráneas?

¿Cuáles son las medidas de control y las normativas vigentes para mitigar los riesgos para la salud asociados a la exposición a las aguas subterráneas en la minería del carbón colombiana?

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

Analizar las medidas de control de enfermedades laborales generadas por la exposición a aguas subterráneas en minería de carbón

### **1.5.2 Objetivos específicos**

Consultar las principales fuentes y vías de contaminación de las aguas subterráneas en la minería del carbón colombiana y su contribución al riesgo de enfermedades profesionales.

Examinar las características de las explotaciones mineras de carbón colombianas que influyen en el riesgo de enfermedades profesionales relacionadas con la exposición a aguas subterráneas.

Identificar los efectos de las fuentes de agua en el entorno ocupacional de la industria de la explotación de carbón

Recopilar y analizar el marco normativo y la reglamentación existentes en Colombia en materia de prevención y control de las enfermedades profesionales causadas por la exposición a aguas subterráneas en la minería del carbón, centrándose en las leyes, decretos, resoluciones y directrices pertinentes.

## **1.6 Justificación**

Este proyecto reúne múltiples beneficios que se orientan hacia la identificación, revisión, divulgación y análisis de efectividad de los diferentes modelos de mitigación de riesgos

laborales para los mineros expuestos a aguas contaminadas. En principio, esto supone una base conceptual que sintetiza las teorías y normativas que sustentan las medidas de reducción de riesgos, ya que se profundiza en las definiciones de seguridad y salud en el trabajo, así como en los diferentes procesos y agentes que se utilizan actualmente en los procesos de minería, para así poder identificar las enfermedades profesionales presentes en este contexto.

Por otra parte, este proyecto permite obtener una visión general de las medidas de control existentes para la prevención y moderación de riesgos en la minería de carbón aplicadas en Colombia que se orientan hacia al manejo de sustancias, sistemas de tratamiento o adecuación de espacios de trabajo, así como capacitación sobre el uso de equipos de protección personal (EPP), implementación de normas de seguridad y salud en el trabajo, para así identificar sus alcances y limitaciones.

Basado en lo encontrado en la síntesis del estado del arte, el proyecto busca realizar recomendaciones y proponer acciones futuras para orientar nuevos trabajos relacionados con la evaluación de eficacia, desarrollo de políticas, mejora de marcos normativos o modelamiento de sistemas que contribuyan al avance del campo en el manejo de enfermedades profesionales en la minería.

Finalmente, este proyecto permite continuar con el proceso de adquisición de conocimiento y formación integral para los profesionales en ingeniería de minas, tanto los que se relacionan a la Universidad Francisco de Paula Santander, como los ingenieros en general, ya que es un trabajo que considera las teorías y la normativa de la minería de carbón en el contexto colombiano, permitiendo ser una fuente fiable de información para quienes estén interesados en implementar y/o desarrollar nuevas técnicas y métodos relacionadas con la mitigación de riesgos profesionales por efecto de aguas subterráneas contaminadas.

## 2. Marco Referencial

### 2.1 Antecedentes

A lo largo del tiempo, múltiples autores han formulado evaluaciones de sistemas de control para los riesgos laborales relacionados con la minería. Un ejemplo de esto se tiene en la evaluación de las medidas de control para reducir las enfermedades respiratorias profesionales en la minería del carbón, donde el autor profundiza la eficacia de la supresión de polvo y sistemas de ventilación para reducir las enfermedades respiratorias relativas a la minería de carbón (Cheberichko et al., 2018).

Otros autores resaltan la problemática que posee la exposición a aguas subterráneas contaminadas como consecuencia de la minería de carbón, destacando que en las zonas mineras existen grandes concentraciones de sustancias como el arsénico que no solo afecta a los trabajadores, sino que también afecta a las poblaciones aledañas y los usuarios de estas fuentes hídricas; esto con el objetivo de crear consciencia sobre las implicaciones que tiene este fenómeno e instar a que se creen políticas y normativas efectivas para proteger a la población (Y. Li et al., 2021). Un trabajo similar fue realizado en Colombia, donde se tiene el análisis de los factores que fomentan el desarrollo de neumoconiosis en los trabajadores de minas de carbón, con el objetivo de caracterizar las condiciones de salud, identificar los factores de riesgo y generar conciencia para la prevención y mejora de las condiciones laborales del sector (Jaramillo Melo & Barrera Duarte, 2018).

En cuanto a la incidencia del agua subterránea, trabajos similares fueron realizados en minas de carbón en India (Samal et al., 2022) e Indonesia (Saptono et al., 2020), obteniendo conclusiones similares con esta problemática al aplicar diferentes técnicas de modelado geoquímico que muestran el riesgo existente de enfermedades como el cáncer debido al consumo del agua contaminada por fuentes naturales y antropogénicas relacionadas con altas concentraciones de F<sup>-</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Otros proyectos proponen un análisis desde el punto de vista normativo, identificando el marco legal empresarial desde una perspectiva ambiental. Señalan la necesidad de abordar la problemática que enfrentan las empresas en Colombia debido a la ambigüedad de normas y leyes que pueden ser interpretadas de diferentes maneras a la hora de diseñar e implementar un sistema de gestión ambiental (Naranjo Galván & Valencia Nieto, 2022).

Desde el punto de vista ambiental en Norte de Santander, se realizó una evaluación de la eficacia de las normas ambientales en el sector carbonífero de la minería de norte de Santander, donde descubren el conflicto existente entre la titulación minera y los planes de ordenamiento territorial y ambiental de la región, lo que deriva en problemas de gobernabilidad que impiden aplicar las normas ambientales vigentes, haciendo que estas sean ineficientes, afectando así a los trabajadores y a la población local (Laguado Nieto, 2022). Otros autores identifican mediante otras metodologías la problemática de la región, por lo que proponen como posible solución un marco educativo con enfoque ambiental y social en las profesiones relacionadas con la minería, con el objetivo de concientizar e instar a los profesionales del área a continuar con la investigación y desarrollo de nuevas metodologías, normativas y sistemas que permitan mitigar el impacto ambiental en la región (Martínez Garcés & Nariño, 2020).

## **2.2 Bases Conceptuales y Teóricas**

### **2.2.1 Salud ocupacional y seguridad**

Considerando la definición dada por la Organización Internacional del Trabajo en el marco del documento acerca de la Recomendación sobre seguridad y salud en las minas de 1995, es posible entender a la salud ocupacional como el mantenimiento del bienestar físico, mental y social de cada agente involucrado en la industria minera, donde se identifican, evalúan y controlan los diferentes riesgos laborales con el objetivo de prevenir lesiones y enfermedades relacionadas con la práctica laboral (International Labour Organization, 1995).



En el contexto colombiano, desde la percepción del Ministerio de Trabajo, los sistemas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo se entienden como toda acción que debe ser implementada dentro de las empresas, bajo la necesidad de acciones de desarrollo de procesos lógicos que permitan la mejora continua de procesos internos; entre los que se destacan la implementación de etapas de políticas que tengan como base procesos de capacitación, aplicación, evaluación, auditoria y acciones de mejora direccionados hacia la anticipación, reconocimiento, evaluación y control de todos aquellos riesgos que puedan llegar a atentar contra la seguridad y salud en el trabajo (Ministerio del trabajo, 2019).

Por otra parte, la Agencia Nacional de Minería define la seguridad minera como el conjunto de técnicas y acciones relacionadas con el objetivo de prevenir los incidentes, accidentes y enfermedades laborales a través de la promoción de la cultura de prevención de riesgos, mejora de condiciones laborales e implementación de mecanismos y acciones necesarias para ofrecer buenas condiciones laborales (Agencia Nacional de Minería, 2020a).

### **2.2.2 Peligro**

El peligro en el contexto de la industria minera, como indica la Administración de Seguridad y Salud en las Minas (MSHA) en su glosario de términos mineros, hace referencia a un estado específico del entorno que supone un daño potencial a la salud, bienestar o seguridad de los trabajadores de las minas, reflejándose en lesiones, enfermedades o muertes (Mine Safety and Health Administration (MSHA), n.d.).

Por otra parte, Díaz M. orienta la definición de peligro hacia las características de las minas subterráneas, donde menciona que el peligro es multifactorial debido a la roca natural que, al ser un material volátil, junto con la formación de gases, los espacios confinados y las vertientes acuíferas, representan un entorno de riesgo para los trabajadores de las minas, donde la tasa de accidentes es sextuplica respecto a la minería a cielo abierto (Díaz, 2009).

### **2.2.3 Riesgo**

Es posible entender el riesgo en el contexto minero como la probabilidad de ser lesionado y de la gravedad de dicha lesión debido a un contexto, una actividad, entre otros. En el caso de las minas, estos riesgos se evalúan en función de las consecuencias que puedan tener los involucrados por efecto de los gases, sustancias y vertimientos que se realizan en la explotación minera, por lo que es importante identificar sistemas y medidas adecuadas que gestionen el riesgo de las actividades a trabajadores, residentes y del medioambiente (Iannacchione & Mark, 2009).

### **2.2.4 Higiene y condiciones de trabajo**

La higiene ocupacional se entiende como las diferentes acciones que previenen, evalúan y controlan los riesgos presentes en un entorno laboral, con el objetivo de reducir la incidencia de enfermedades laborales presentadas por los diferentes agentes que actúan en la mina y que afectan la calidad de vida de estos a largo plazo (Puelles Lizana, 2022). Este concepto está ligado a las condiciones de trabajo, debido a que la higiene laboral impacta directamente en las condiciones de trabajo, y esta busca garantizar condiciones óptimas de trabajo para todos los involucrados en una mina.

Por otro lado, cuando se habla de condiciones de trabajo, se puede afirmar que representan un entorno contextual que caracteriza el lugar de trabajo donde un empleado desempeña sus tareas (UNICEF Innocenti Research Centre, 2007). De esta forma, las condiciones de trabajo se refieren al conjunto de factores que influyen en un individuo en su relación laboral, moldeando sus actividades y conduciendo a diversas consecuencias tanto para el individuo como para la empresa (Nicolaci, 2008)

### **2.2.5 Minería subterránea**

La minería subterránea se entiende, basada en la definición del Ministerio de Minas y Energía de Colombia, como las actividades mineras que comprenden labores de extracción de materias primas depositadas bajo tierra y que son transportadas a la superficie, mediante el uso de pozos o galerías que se conectan a través de sistemas de túneles que permite el flujo de material y de trabajadores (Ministerio de Minas y Energía, 2003).

Sobre esta base, se entiende que los problemas que afectan a los trabajadores de la minería subterránea están asociados al hecho de que este tipo de minería es más peligroso debido a la naturaleza de la propia mina. La mina se construye a partir de roca natural, que no es un material ideal para fines de ingeniería. Además, el trabajo en la minería subterránea implica espacios confinados que pueden dar lugar a la acumulación de gases, fuentes de agua subterráneas y otros peligros.

### **2.2.6 Ergonomía**

Este concepto se deriva del griego ergo que significa trabajo y se complementa con el concepto nomos que significa leyes naturales, lo cual ha permitido que sea definido como aquel estudio de las características humanas para el diseño apropiado del ambiente en donde se vive y se trabaja (Franco et al., 2007). Es una disciplina científica que tiene como principal fin estudiar la relación entre el entorno de trabajo y quienes lo realizan, para poder así diseñar acciones preventivas que tengan como principal fin conseguir un mayor grado de adaptación o ajuste entre lo que se quiere y lo que se debe hacer en el trabajo.

Esta ciencia estudia los espacios físicos, ambiente térmico, ruido, posturas, vibraciones y cargas de trabajo, que puedan llegar a poner en peligro la salud el trabajador (Stack et al., 2016).

### **2.2.7 Carga física**

Es el conjunto de exigencias físicas a las que se ven sometidos los trabajadores durante su jornada laboral. Engloba todos los agentes o situaciones que suponen un factor de riesgo para el cuerpo humano. Las máquinas, equipos y herramientas, con su peso, tamaño, forma y diseño, pueden provocar esfuerzos excesivos, así como posturas o movimientos inadecuados que deriven en consecuencias como lesiones musculoesqueléticas o fatiga física (Solórzano Arroyo, 2014).

### **2.2.8 Carga estática**

La contracción muscular continua y el mantenimiento de una posición determinada durante un periodo prolongado demuestran la necesidad de comprender los diferentes tipos de carga estática, incluida la postura sostenida. La postura sostenida se produce cuando una persona mantiene la misma posición durante un periodo prolongado sin poder cambiarla. La postura inadecuada es el resultado de una configuración incorrecta del puesto de trabajo o de la falta de buenas prácticas individuales, en las que las personas pueden verse obligadas a permanecer de pie, sentadas, tumbadas o arrodilladas durante periodos prolongados debido a sus tareas laborales. La postura forzada se refiere a una posición de trabajo que impone una tensión excesiva en una o varias regiones anatómicas del cuerpo, desviándose de una posición natural y cómoda a otra forzada. Esta postura forzada puede provocar hiperextensiones, hiperflexiones o hiperrotaciones del sistema musculoesquelético, que pueden dar lugar a lesiones por sobreuso (Salter, 2000).

### **2.2.9 Carga dinámica**

Se entiende como tal una actividad física asociada a un gasto energético, resultado de una sucesión periódica de tensiones y relajaciones musculares. Este tipo de cargas se clasifican en movimientos repetitivos, que implican la realización de movimientos corporales específicos de forma repetida durante un tiempo definido en el lugar de trabajo, y manipulación manual de cargas, que se refiere a cualquier operación de agarre o transporte

de una carga por parte de uno o más trabajadores. La manipulación manual puede implicar levantar, colocar, empujar, tirar o mover una carga, a menudo con características o condiciones ergonómicas inadecuadas para los trabajadores, lo que puede provocar riesgos como lumbalgia. (Ruiz Ruiz, 2011).

### **3. Marco Metodológico**

El presente documento emplea como metodología la revisión documental, que se conoce como una técnica basada en la recopilación de información sobre un tema específico. Su objetivo es proporcionar variables relacionadas con el tema establecido, posibilitando la correlación de perspectivas y conceptos. Este abordaje permite examinar el estado del arte de los conocimientos relativos al tema en estudio (Hurtado de Barrera, 2000). La técnica facilita la síntesis de informaciones relacionadas con conceptos, normas y modelos que interactúan en la mitigación de los efectos de la contaminación de las aguas subterráneas en los trabajadores de las minas.

Además, es importante señalar que la investigación documental es un procedimiento científico que implica la indagación, recopilación, organización, análisis e interpretación de información o datos relativos a un tema específico. Abarca la información científica y técnica. Este tipo de trabajo lo realizan bibliotecas, centros de documentación e información, bases de datos, centros de análisis de información, archivos, museos, etc. Estas instituciones sirven como unidades de información y, en consecuencia, como lugares naturales de trabajo para los investigadores. En otras palabras, son espacios donde los investigadores recogen información (Tancara Q, 1993).

#### **3.1 Técnica de análisis**

Se emplea el enfoque de las revisiones críticas del estado del conocimiento, que es definido por (Chacín et al., 2007) como la integración, organización y evaluación de la información teórica y empírica existente sobre un problema. Se centra tanto en los avances de la investigación actual como en las posibles vías para su resolución.

## **4. Desarrollo**

### **4.1 Aguas subterráneas**

#### **4.1.1 Formación de aguas subterráneas**

La formación de los acuíferos subterráneos se produce a partir de la infiltración de agua del exterior en forma de lluvia o nieve en el suelo. Este proceso filtra el agua a medida que pasa por las plantas y capas del suelo, cargándose de minerales y nutrientes presentes en el recorrido, y continua hasta que llega a capas de roca impermeable que provocan un flujo horizontal hasta encontrar cuevas en donde se acumulan, las cuales pueden estar a diferentes profundidades, según las características del entorno (Álvarez, 2021). Estos acuíferos son fundamentales como fuente de agua potable y sistemas de riego para diversas comunidades en el mundo, ya que se estima que el 0.5% del total de agua dulce del planeta se encuentra en los acuíferos, por lo que su protección y conservación son claves para el desarrollo de medidas de sostenibilidad en el contexto minero (Moran, 2015).

#### **4.1.2 Calidad del agua en minería subterránea**

Es bien sabido que la minería es una fuente de contaminación hídrica y medioambiental, debido a que afecta desde múltiples frentes al ciclo del agua: Deforestación, erosión del suelo, vertimiento de metales pesados a cuerpo de agua, afectación de la cadena trófica, entre otros. Esto muestra que el impacto de la minería es enorme en materia ambiental y los efectos en la salud de los empleados y de las comunidades cercanas se evidencian no solo en la propagación de enfermedades metaxénicas, intoxicación por metales pesados, sino que también en violencia social y enfermedades ocupacionales (Osores Plenge et al., 2012).

En cuanto al estado del agua en la minería subterránea de carbón, se tienen razones multifactoriales que determinan la misma, considerando la ubicación geográfica, los fenómenos climáticos y la composición del terreno, pudiendo contener altas

concentraciones de iones tales como sulfatos, hierro, manganeso, entre otros. Por otra parte, el pH del agua subterránea afectada por las minas depende de la geología de la zona y la acidez de los componentes de las rocas, lo cual causa niveles de acidez considerables en el agua variando el pH entre 3 y 9 (Silva-Leal et al., 2021).

#### **4.1.3 Nocividad de las aguas subterráneas generadas por la minería**

Considerando las condiciones del entorno y cómo la minería afecta el entorno donde se encuentran los acuíferos y el ciclo del agua en general, es posible determinar que el agua derivada de las minas subterráneas de carbón son potencialmente nocivas, en función de la composición química de sus contaminantes y las condiciones ambientales, ya que la minería de carbón añade metales pesados, compuestos químicos tóxicos y agentes que acidifican el agua e hipersaturan el agua de sales y otros minerales (Ministerio de Minas y Energía, n.d.).

#### **4.1.4 Canalización y desagüe**

El drenaje continuo de mina se realiza para evitar la inundación de las zonas de trabajo, por lo que es importante instalar instalaciones de bombeo adecuadas según las necesidades específicas de cada caso. Cada mono debe ser duradero, fuerte y resistente a la corrosión. Es crucial comprender los cambios en la humedad, la humedad y las paredes en una lengua de excavación. Al hacerlo, es importante medir la alcalinidad del agua subterránea en la mina, la capacidad del agua para neutralizar la adición de ácido y analizar la cantidad requerida para un determinado valor de pH.

Para determinar si hay alcalinidad individual en el agua, se mide la cantidad de ácido agregado a un volumen específico de agua para lograr un valor de pH aproximado de 8.5. El mejor indicador para este rango de pH es la fenolftaleína, que sufre un cambio de color de rojo violeta a neutro. Por otro lado, para determinar si existe alcalinidad total en el agua, se observa la cantidad de ácido que se agrega a un volumen específico de agua para lograr



un valor de pH aproximado de 3.5. El mejor indicador para este rango de pH es el uranato de metilo, que cambia de amarillo anaranjado a rojo. (Skousen et al., 2019).

#### **4.1.5 Sistemas disponibles para el tratamiento de aguas ácidas**

Los distintos sistemas dependen de si las aguas ácidas son superficiales o subterráneas. En el caso de las aguas subterráneas, se requieren zanjas de drenaje, muros de interceptación, pozos, galerías y otras estructuras. Sin embargo, la mayoría de estos sistemas requieren un mantenimiento a largo plazo para garantizar su correcto funcionamiento. Por lo general, el mantenimiento consiste en eliminar y aislar los metales y aniones metálicos del agua. Algunos de estos sistemas emplean técnicas de precipitación, que suelen ser eficaces para lograr la calidad deseada del efluente (Aduvire, 2006).

Sin embargo, si los metales pesados están disueltos en solución en forma de complejos orgánicos, su eliminación por precipitación directa se convierte en un reto. En tales casos, son necesarias otras técnicas como la desoxidación clásica, la ozonización y la oxidación bacteriana. Antes de aplicar cualquier tratamiento, siempre es aconsejable determinar los metales presentes y su estado químico en el efluente (Aduvire, 2006). En la Tabla 1, se resumen las diferentes técnicas aplicadas para los efluentes mineros, describiendo su técnica y en cuáles contextos pueden ser implementados.

Tabla 1. Técnicas de tratamiento potencialmente aplicables para los efluentes mineros

Proceso	Descripción	Aplicaciones
---------	-------------	--------------

Electrodialisis	Movilización iónica producida gracias a fuerzas de transferencia eléctricas a través de membranas permeables. La intensidad de corriente necesaria depende de la concentración de la solución.	Desalinización Tratamiento de aguas ácidas
Ósmosis inversa	Flujo del disolvente a través de membranas semipermeables gracias a la presión osmótica	Desalinización Tratamiento de aguas ácidas
Intercambio iónico	Resinas aniónicas y catiónicas reemplazan los contaminantes por iones H <sup>+</sup> , OH <sup>-</sup> y otros.	Desalinización Ablandamiento del agua Tratamiento de aguas ácidas Extracción de uranio
Evaporación por destilación	Se evapora el agua pura y se extrae una solución concentrada	
Congelación	A medida que se forma el hielo, la solución se hace más concentrada y precipitan las impurezas	Desalinización Tratamiento de aguas ácidas
Flotación iónica con espumantes	La activante liga a los iones disueltos con burbujas de aire. Los residuos se retiran con la espuma.	Concentración de elementos traza en el océano Tratamiento de soluciones muy diluidas
Extracción con disolvente	El soluto pasa del agua al disolvente debido a que su solubilidad en éste es mayor que en el agua. El soluto se extrae del disolvente. El disolvente se recircula.	Extracción de uranio. Retirada de contaminantes orgánicos presentes en los efluentes. Tratamiento de aguas ácidas. Separación del petróleo y el agua.
Adsorción por carbón activo	Adsorción de metales pesados.	Oxidación del hierro en aguas ácidas
Neutrólisis	Combinación de neutralización y ósmosis inversa mediante la recirculación del concentrado del proceso de ósmosis a través de la etapa de neutralización.	Tratamiento de aguas ácidas
Oxidación por ozono	Oxidación de ión ferroso a férrico seguida de neutralización	Tratamiento de efluentes ferrosos y aguas ácidas
Técnicas de control biológico	Existen distintos métodos. Su aplicabilidad depende de la naturaleza de la solución a tratar y de la disponibilidad de nutrientes. Trabajan en rangos de pH comprendidos entre 6 y 8. En algunos casos con pH entre 3 y 4,5.	Dependiendo de la técnica escogida pueden ser: Reducción de la acidez del medio aumentando su pH. Reducción de la concentración de ion ferroso. Adsorción de metales. Eliminación de compuestos nitrogenados. Eliminación del cianuro empleado en la concentración del oro.

Fuente; drenaje ácido de mina generación y tratamiento (Aduvire, 2006)

Teniendo en cuenta las técnicas mencionadas, es posible clasificarlas en métodos activos o métodos pasivos en función de sus características. Un método activo implica un funcionamiento continuo y el uso de métodos químicos mediante la adición de sustancias alcalinas. Estos métodos requieren control y mantenimiento de las instalaciones. Normalmente, el tratamiento de las aguas ácidas de mina puede clasificarse en dos tipos: aireación y mezcla, así como almacenamiento adecuado de los lodos cargados de metales.

Por otro lado, un método pasivo requiere una intervención humana mínima, como se observa en el caso de los humedales, los drenajes anóxicos de caliza, los sistemas de alcalinización y otros. El objetivo principal de los métodos pasivos es suprimir la acidez, precipitar los metales pesados y eliminar contaminantes como sólidos en suspensión, arseniatos, antimonatos y otros (Arismendy Vidales, 2018).

Por último, cabe destacar que las propiedades físicas, químicas y biológicas de los residuos mineros afectan a la solubilidad de los metales y a la migración de los contaminantes. Esto subraya la necesidad de movilizar los metales disueltos de forma más controlada, principalmente a través de factores químicos. Mientras tanto, los procesos que ocurren a lo largo de la ruta de migración se rigen por factores físicos, químicos y biológicos.

#### **4.1.6 Efectos del agua subterránea en las labores mineras**

En la minería subterránea, el efecto de las fuentes hídricas se evidencia en la infiltración de los acuíferos cercanos, donde se busca extraer el agua mediante bombeo, o bien con la creación de túneles que pretende evacuar el agua por medio de gravedad, siendo aplicada en minas con mayor caudal como las minas profundas asociadas a rocas volcánicas jóvenes en zonas lluviosas. Otra técnica que se utiliza en algunas minas es la inyección de agua para reducir la cantidad de polvo en el aire y controlar los niveles de metano, a través de tuberías que humedece el carbón y reduce la cantidad de polvo que se genera durante su extracción (Tovar Pacheco, 2020).

Ahora bien, es importante dar un manejo adecuado a los cuerpos de agua que se infiltran en las minas de carbón, ya que el agua fluyendo afecta la estabilidad de las minas al debilitar la integridad estructural de la mina y provocar hundimientos en el suelo, desprendimiento de techos e inundaciones. Por otra parte, las fuentes hídricas contribuyen a la liberación de metano en las explotaciones de carbón, el cual es un potente gas de efecto invernadero que

suponen un riesgo elevado por su inflamabilidad al ser liberado de las vetas de carbón (Xiao et al., 2018).

## **4.2 Tipos de contaminantes presentes en las minas subterráneas de carbón**

### **4.2.1 Contaminantes físicos del agua subterránea**

Como tipo de contaminantes físicos se encuentran los de tipo ambiental, que implican transformaciones físicas debido a la interacción con múltiples fuentes de energía, tales como el electromagnetismo, la mecánica o la térmica, que afectan directa o indirectamente al trabajador según la intensidad y el tiempo de la exposición (Díaz, 2009). Como primer contaminante se destaca el factor de iluminación, la cual puede generar afectaciones a la salud producto de los cambios drásticos en la misma, tales como fatiga visual, deslumbramiento, fotofobia asociada y nistagmus del minero (Díaz, 2009)

Por otra parte, se tiene a la temperatura como agente contaminante del entorno ocupacional del minero, debido a que la exposición a altas temperaturas a largo plazo afecta a los trabajadores y a las condiciones laborales, ya que el incremento de la temperatura produce bajos rendimientos laborales, corroe equipos y materiales, desgasta físicamente al trabajador y esto aumenta los índices de accidentalidad (Castro-Duque et al., 2014). Entre tanto, la contaminación acústica es un factor representativo de las labores de minería de carbón, principalmente por máquinas de gran porte, transporte de materiales, perforación, voladuras, entre otros que producen altos niveles de energía acústica, que compromete la salud de los trabajadores al causar sordera y también afectar la salud mental de los mismos (Castro Duque & Monroy Sepulveda, 2012).

Otro factor que influye considerablemente en el contexto minero es la radiación ionizante, la cual se caracteriza por tener la suficiente energía para ionizar la materia al extraer electrones ligados al átomo, generando daños en el ADN de los trabajadores que se

expongan por tiempo prolongado a materiales radioactivos. Actualmente, este tipo de radiación se regula por Agencia para la Energía Nuclear de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (AEN/OCDE). A diferencia de la radiación no ionizante, que no tiene la capacidad de ionizar la materia, y cuyos efectos son menos peligrosos que la radiación ionizante, presenta la particularidad de que por la intensidad energética de la emisión también pueda causar daños en el trabajador (Cherry Jr. & Stellman, 2001).

Finalmente, la vibración es otro contaminante físico presente en el ejercicio de la minería de los trabajadores, debido a que los agentes vibratorios generan afectaciones en la postura corporal, la tensión muscular en los brazos y órganos del sistema digestivo, así como en los nervios, que causan trastornos digestivos, lumbalgias, cefaleas, artrosis, entre otros (Agencia Nacional de Minería, 2020b).

#### **4.2.2 Contaminantes químicos del agua subterránea**

Los contaminantes químicos proceden a partir de las reacciones entre materia inerte que interactúa con el entorno en forma de gas, polvo, líquido o humo que reaccionan con otros componentes químicos del entorno y con el organismo de los trabajadores, afectando vías respiratorias al ser respirados por los trabajadores; o afectando la piel por efecto de absorción de solventes o alcoholes (Chiong Lay, 2018). Como tipo de contaminante químico, se tiene a los polvos minerales, que son pequeñas partículas sólidas que se dispersan en el aire y que, al ser respiradas por los trabajadores, generan daños en los alveolos que repercuten en el desarrollo de trastornos respiratorios como la neumoconiosis, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), bronquitis crónica, entre otros (Organización Internacional del Trabajo, 1965).

Por otra parte, los compuestos químicos también pueden encontrarse en estado gaseoso bajo ciertas condiciones de presión y temperatura, que generan grandes riesgos para la salud

y la seguridad en general de las minas, tales como el monóxido de carbono, el monóxido de nitrógeno, el dióxido de azufre y el dióxido de nitrógeno, así como los aldehídos, los aromáticos policíclicos y compuestos nitrogenados que normalmente derivan en afectaciones respiratorias y explosiones dentro de las minas (García-Martínez, 2005).

En el procesamiento de minerales los químicos utilizados en la minería incluyen algunos como cianuro, mercurio, ácido sulfúrico y disolventes, que sirven para poder separar los minerales de la mena y que son altamente tóxicos para las personas (Peña Neira & Araya Meza, 2021). Por otra parte, se resalta el uso de ácido nítrico, nitrato de amonio, petróleo (combustible), metales pesados tales como uranio y plomo, sin contar con los humos provocados por el escape de los vehículos y maquinaria utilizada por el equipo de la mina. Un agravante del cianuro es que es un metal pesado que se usa para separar el oro de la mena, siendo este un metal mortal para quien lo consuma, aun en dosis bajas, cuya exposición prolongada puede llegar a causar hinchazón en el cuello de los trabajadores (bocio) (Huancahuari Flores, 2009)

#### **4.2.3 Contaminantes biológicos**

El riesgo biológico se origina por la presencia de microorganismos tales como virus, parásitos, bacterias u hongos que causan infecciones, alergias y toxicidad a los trabajadores, desde enfermedades leves a incluso patologías letales. Estas infecciones se propagan a través del contacto físico, por aerosoles, elementos y equipos contaminados y zoonosis, que se combina con las afectaciones físicas anteriormente mencionadas y causan que los mineros sean más susceptibles a las enfermedades infecciosas (Comisiones obreras de Castilla y León, 2010).

### 4.3 Enfermedades laborales en la minería

Como se detalla en las secciones anteriores, existen muchos riesgos asociados a la práctica laboral minera que causan múltiples enfermedades ocupacionales, debido al polvo del carbón, la variedad de gases nocivos y los demás contaminantes presentes en las cuevas en donde se realiza la extracción de material. En este contexto, una de las enfermedades más comunes es la neumoconiosis de los trabajadores de carbón, la cual es una enfermedad progresiva que debilita al paciente por efecto de la inhalación de polvo de carbón a largo plazo, afectando los alveolos, generando máculas y nódulos dentro del pulmón, que consisten en áreas de inflamación y cicatrización en el pulmón a causa de la respuesta inmunológica del organismo; y en casos más graves desarrollar fibrosis pulmonar severa (Go & Cohen, 2020).

Otra enfermedad que suele incidir en la salud de los mineros es la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), que consiste en el daño a vías respiratorias por efecto de la exposición prolongada al polvo de sílice, el polvo de carbón, gases de escape diésel, entre otros. Esta enfermedad desencadena una inflamación crónica de las vías respiratorias que, de ser sostenida, destruye los alveolos en un proceso llamado enfisema, desarrolla bronquitis crónica, y genera sibilancias, lo cual reduce drásticamente la función pulmonar del paciente y genera afecciones graves de salud a largo plazo (Wang et al., 2023).

Entre tanto, producto de la inhalación de carcinógenos, la exposición al radón y a otras sustancias químicas, los trabajadores mineros son particularmente susceptibles a desarrollar diferentes tipos de cáncer, debido a que, si bien el desarrollo de cáncer depende del tiempo de exposición, la susceptibilidad propia del individuo y el uso adecuado de los equipos de protección personal, la presencia de material particulado y de los hidrocarburos aromáticos policíclicos es conocida como una causa principal del cáncer de pulmón (Alif et al., 2022).

Ahora bien, las enfermedades musculoesqueléticas, tales como la tendinitis, bursitis, hernias discales, artrosis, entre otros, se atribuyen a la naturaleza ocupacional del trabajo en las minas, debido a la acción de movimientos repetitivos, el transporte de elementos pesados, la constante exposición a posturas incómodas, entre otras. Estas enfermedades afectan a los tendones, bursas, a los discos de la columna vertebral al causar que el tejido blando intervertebral sobresalga, y las articulaciones que se degeneran con el paso del tiempo (X. Li et al., 2021).

Otro riesgo laboral al que se exponen los trabajadores en las minas de carbón es a la hipoacusia, o pérdida de audición, causada por la exposición prolongada a sonidos de alta energía procedentes de la perforación, las explosiones y la maquinaria, dañando las estructuras del oído interno y causando así pérdida de audición neurosensorial, afectando así mismo el equilibrio del trabajador y reduciendo considerablemente su capacidad para desarrollar adecuadamente las labores (Thakkar et al., 2022).

Además de las enfermedades musculoesqueléticas y la pérdida de audición, los mineros del carbón también corren el riesgo de intoxicación por plomo, que suele estar presente en las formaciones geológicas y que contaminan los acuíferos o los alimentos de los trabajadores. Esta exposición crónica provoca problemas neurológicos, deterioro de funciones cognitivas, daños renales, anemia, hipoxia, entre otros, producto del efecto nocivo del plomo en el organismo de los trabajadores (Samarghandian et al., 2021).

#### **4.4 Controles de fuente y de individuo para mitigar las enfermedades laborales derivadas del agua subterránea en la minería**

Con el objetivo de mitigar las enfermedades ocupacionales relacionadas con las aguas subterráneas en la minería, se recomienda aplicar controles de ingeniería y consideraciones de diseño al momento de implementar sistemas efectivos para el manejo de agua en las minas de carbón. Esto implica la instalación de sistemas de gestión de agua que incluyan sistema de



drenaje, técnicas de desagüe e impermeabilización que garanticen un entorno seco y controlado (Acharya & Kharel, 2020).

Por otra parte, el control de calidad de las aguas subterráneas son cruciales para identificar con suficiente antelación los componentes del agua subterránea y reducir el tiempo de exposición de los trabajadores a los contaminantes, así como de los usuarios de las fuentes hídricas comprometidas durante el proceso de extracción de carbón, con técnicas de muestreo tales como la ICPMS (Agilent 7500 ICPMS), la espectrometría de fluorescencia atómica (AFS), la medición de riesgo no carcinogénico y carcinogénico de los metales pesados esbozado a través del cociente de peligrosidad (HQ), el análisis aglomerativo jerárquico de conglomerados (HACA), entre otros (Rashid et al., 2023).

Otra medida que contribuye a mitigar los riesgos profesionales en la minería de carbón, es la estricta vigilancia y cumplimiento de los protocolos de seguridad y salud del trabajo, mediante chequeos médicos regulares de los mineros que consideren la salud física y mental del empleado, el uso adecuado y constante de los elementos de protección personal, el fomento de una cultura de seguridad industrial que sea transversal a todos los integrantes de la mina mediante programas de formación, comunicación, y auditorías internas y externas dentro de la organización. Estos procesos de auditoría interna se estandarizan por la ISO 45001 que indica las consideraciones al momento de evaluar los sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo (International Organization for Standardization, 2018).

En el contexto de Colombia, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible recomienda algunos tipos de controles y medidas que se pueden implementar para mitigar las enfermedades laborales relacionadas con el agua subterránea en la minería de carbón. Algunas de ellas son la implementación de sistemas de drenaje y bombeo adecuados para reducir el nivel de agua subterránea en las áreas de trabajo, el establecimiento de protocolos de seguridad para el

manejo de agua subterránea contaminada, incluyendo la identificación y etiquetado de áreas de riesgo la capacitación y entrenamiento continuo para los trabajadores sobre los riesgos asociados con el agua subterránea y las medidas de seguridad necesarias para prevenir enfermedades laborales, el uso de equipos de protección personal (EPP) adecuados para evitar la exposición directa al agua subterránea y sus contaminantes, la implementación de programas de salud ocupacional para monitorear la salud de los trabajadores y detectar tempranamente cualquier signo de enfermedad relacionada con el agua subterránea, el cumplimiento de las regulaciones y normas de seguridad establecidas por las autoridades competentes en materia de salud y seguridad ocupacional, entre otros (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

#### **4.5 Marco legal de la minería subterránea**

##### **4.5.1 Resolución 0312 de 2019: Gestión de aguas residuales en las actividades mineras**

En el marco legal colombiano de la minería subterránea, la Resolución 0312 de 2019, emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, establece los requisitos y procedimientos para la gestión de aguas residuales en las actividades mineras desarrolladas en el país, con el objetivo de promover una gestión adecuada de las aguas residuales en las minas para minimizar el impacto de la contaminación de los recursos hídricos, a través del establecimiento de especificaciones técnicas y administrativas que toda empresa minera debe cumplir. Uno de sus principales aspectos contempla la identificación de las fuentes de generación de aguas residuales, la implementación de control y monitoreo del flujo de agua, y la obligatoriedad de elaborar planes de contingencia para emergencias (Resolución 0312 de 2019, 2019).

##### **4.5.2 Decreto 1477 del 2014: Tabla de enfermedades laborales**

El Gobierno Nacional de Colombia expide el Decreto 1477 de 2014 que establece la tabla de enfermedades laborales en función de los factores de riesgo ocupacional químicos,

físicos, biológicos, psicosociales y agentes ergonómicos, junto con la creación de la categoría de enfermedades directas, que beneficia al empleado al no necesitar de exámenes previos para que la Administradora de Riesgos Laborales realice el pago que corresponde. A continuación, se muestra la Tabla 2, que contiene la información dada por el Decreto que compete a las enfermedades relacionadas con la minería de carbón subterráneo:

ENFERMEDAD	AGENTES ETIOLÓGICOS	OCUPACIONES/INDUSTRIAS
Neumoconiosis del minero de carbón.	Carbón mineral, carbón puro, grafito, carbono de hulla.	Mineros de las de carbón.
Bursitis de la mano, bursitis de olecranon, otras bursitis del codo	Posiciones forzadas, manejo de cargas y movimientos repetitivos.	Mineros de las minas de carbón y manganeso.
Neoplasia maligna de bronquios y de pulmón.	Amianto o asbestos; cromo y compuestos de cromo; emisiones de horno; ácidos fenoxiacéticos.	Mineros de las minas de carbón.
Trastornos respiratorios de otras enfermedades del tejido conjuntivo. Síndrome de Caplan.	Polvo de carbón mineral.	Mineros de las minas de carbón.
Artritis reumatoidea.	Polvo carbón mineral.	Mineros de las minas de carbón.
Sinovitis crepitante crónica de la mano y puño, Trastorno de los tejidos blandos	Posiciones forzadas, presión y movimientos repetitivos.	Mineros de las minas de carbón.

Fuente: (Decreto 1477 de 2014, 2014)

#### **4.5.3 Decreto 1886 de 2015: Normativa vigente en Colombia en el sector minero y del trabajo**

Desde el sector minero, el Ministerio de Minas y Energía de Colombia establece la normatividad técnica y de seguridad que toda actividad de exploración y explotación de hidrocarburos y minerales que se desarrolle en el país debe cumplir, estableciendo los procedimientos en perforación, construcción de infraestructura, evaluación de impacto ambiental y rehabilitación de zonas afectadas por la explotación de hidrocarburos y minerales, detallando también las sanciones y multas que se aplican en caso de incumplimiento de las normas establecidas, así como la creación del fondo de restauración

ambiental que se financia con los aportes de empresas mineras y petroleras con el objetivo de rehabilitar las áreas afectadas por dicha actividad (Decreto 1886 de 2015 , 2015).

## 5. Conclusiones

Este trabajo trata diversos aspectos relacionados con las enfermedades ocupacionales de los trabajadores de las minas de carbón en Colombia causadas por la exposición a aguas subterráneas, pretendiendo vislumbrar sobre las medidas de control requeridas para el control de los efectos nocivos del entorno profesional del área. Considerando el estado del arte en el área de los sistemas de control y las normativas, se identificaron los riesgos para la salud a los que se exponen los mineros en sus labores, especialmente orientados a las enfermedades musculoesqueléticas, las afecciones respiratorias y la tendencia al cáncer, mostrando que es crucial implementar sistemas e implementar la normativa que pretende proteger al trabajador.

Por otra parte, este proyecto muestra la necesidad de considerar enfoques integrales al momento de abordar los retos de la seguridad y salud en el trabajo para la industria minera, ya que se debe considerar en el desarrollo de nuevos modelos y normas aspectos tales como los controles de ingeniería, sistemas de ventilación, el correcto uso de los equipos de protección personal, el monitoreo constante en la calidad el aire y del agua, así como programas de capacitación y educación a los empleados que creen una cultura de salud e higiene laboral en todas las esferas de las organizaciones mineras.

Además, es necesario tener en cuenta la importancia del manejo de los acuíferos en la minería de carbón, ya que existen peligros como la contaminación del entorno, los problemas de estabilidad y el aumento de emisiones de gases nocivos tales como el radón y el metano, siendo de gran importancia considerar estos fenómenos para minimizar el impacto sobre los trabajadores, el ambiente y los usuarios de las fuentes hídricas impactadas por la actividad minera.

Finalmente, este trabajo supone un valioso recursos bibliográfico que permite comprender las medidas de control necesarias para mitigar las enfermedades profesionales, ya que recopila y

sintetiza las consideraciones en materia de enfermedades ocupacionales, los riesgos presentes en el entorno de la minería y el efecto de las aguas subterráneas contaminadas, que permitan a futuros investigadores desarrollar sistemas de control y normativas que permitan a las empresas mineras y demás involucrados crear condiciones laborales seguras y efectivas para los trabajadores en minería, contribuyendo al desarrollo sostenible de esta actividad.

### Bibliografía

- Acharya, B. S., & Kharel, G. (2020). Acid mine drainage from coal mining in the United States – An overview. *Journal of Hydrology*, 588, 125061. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125061>
- Aduvire, O. (2006). *Drenaje ácido de mina: Generación y tratamiento* (1th ed.). Dirección de Recursos Minerales y Geoambiente.
- Agencia Nacional de Minería. (2020a). Capacitación y entrenamiento para el curso de promotor en prevención de seguridad y salvamento minero modalidad virtual. In *Seguridad Minera*. [https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/3.MIS5-P-002-I-005\\_V1-CAPACITACION-Y-ENTRENAMIENTO-PARA-EL-CURSO-DE-PROMOTOR-EN-PREVENCIÓN-DE-SEGURIDAD-Y-SALVAMENTO-MINERO-MODALIDAD-VIRTUAL.pdf](https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/3.MIS5-P-002-I-005_V1-CAPACITACION-Y-ENTRENAMIENTO-PARA-EL-CURSO-DE-PROMOTOR-EN-PREVENCIÓN-DE-SEGURIDAD-Y-SALVAMENTO-MINERO-MODALIDAD-VIRTUAL.pdf).
- Agencia Nacional de Minería. (2020b). *Manual del socorredor minero*.
- Alif, S. M., Sim, M. R., Ho, C., & Glass, D. C. (2022). Cancer and mortality in coal mine workers: a systematic review and meta-analysis. *Occupational and Environmental Medicine*, 79(5), 347–357. <https://doi.org/10.1136/oemed-2021-107498>
- Altahona Ortega, Á. J., Price Gómez, L. E., & Rodríguez Castellón, J. M. (2019). Impacto de la apertura económica en el sector minero en Colombia en el periodo comprendido entre 1991-2017. *Liderazgo Estratégico*, 9(1), 167–176. <https://revistas.unisimon.edu.co/index.php/liderazgo/article/view/3811>
- Álvarez, B. L. (2021). Agua subterránea, un recurso oculto. *Argumentos. Estudios Críticos de La Sociedad*, 1(95). <https://doi.org/10.24275/uamxoc-dcsh/argumentos/202195-01>

- Arismendy Vidales, S. K. (2018). *Problemática ambiental generada por el drenaje ácido de mina en la explotación de yacimientos mineros en Colombia* [Monograph]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.
- Cárdenas, J. A., Arcos, A., & Echavarría, E. (2017). *Seguridad y salud en la pequeña minería Colombiana: estudios de caso en oro y carbón* (Primera Edición). Alianza por la Minería Responsable.
- Cárdenas, M., Medina, H., Gonzáles, T., Cante, C., Arce, J. C., Yaya, J., & Santamaría, R. (2012). Censo Minero Departamental 2010-2011. *Ministerio de Minas y Energía*, 14. <http://www.minminas.gov.co/censominero>
- Castro Duque, Y., & Monroy Sepulveda, R. (2012). Evaluación del impacto acústico producido por equipos utilizados en minería subterránea de carbón. *Respuestas*, 17(2), 55–62. <https://doi.org/10.22463/0122820X.391>
- Castro-Duque, Y., Delgado-Rodríguez, J. R., & Cáceres-Santos, J. J. (2014). Análisis del índice de impacto térmico generado en un ambiente subterráneo. *Respuestas*, 19(2), 32–40. <https://doi.org/10.22463/0122820X.435>
- Chacín, B., González, M., & Torres, Y. (2007). CRÍTICA A LA GENERACIÓN DEL CONOCIMIENTO EN LA EXTENSIÓN UNIVERSITARIA: Aproximación a un protocolo de investigación innovativa. *Laurus*, 13(24), 215–240. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=76111485011>
- Cheberichko, S. I., Yavorskyi, A. V., Yavorska, O. O., & Tykhonenko, V. V. (2018). Evaluating the risks of occupational respiratory diseases of coal mine workers. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 6, 104–111. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018/13>



- Cherry Jr., R. N., & Stellman, J. M. (2001). Radiaciones Ionizantes. In *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo* (pp. 48.1-48.46). Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- Chia Pinto, L. A. (2020). *Pasivos ambientales mineros en Colombia* [Bachelor Degree Thesis]. Universidad Militar Nueva Granada.
- Chiong Lay, M. L. V. A. M. R. F. V. J. L. Á. S. M. T. N. P. O. O. M. M. R. (2018). *Manual de Normas de Bioseguridad y Riesgos Asociados – Fondecyt – CONICYT*.
- Comisiones obreras de Castilla y León. (2010). *Guía sobre exposición laboral a riesgos biológicos* (Secretaría de salud laboral, Ed.). Junta de Castilla y León.
- Díaz, M. (2009). *Manual de salud y seguridad en trabajos de minería* (G. Gándara, A. Tesoro, A. V. Correa, A. Ocampo, P. Ruggeri, & R. Delfino, Eds.). Aulas y Andamios.
- García-Martínez, M. J. (2005). *Los hidrocarburos policíclicos aromáticos asociados a combustibles fósiles : caracterización, análisis y remediación* [Universidad Politécnica de Madrid]. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.400>
- Go, L. H. T., & Cohen, R. A. (2020). Coal Workers' Pneumoconiosis and Other Mining-Related Lung Disease. *Clinics in Chest Medicine*, 41(4), 687–696. <https://doi.org/10.1016/j.ccm.2020.08.002>
- Decreto 1477 de 2014, Pub. L. No. 1477 (2014).
- González, O. U., Molina, R. G., & Patarroyo, D. F. (2019). Condiciones de Seguridad y Salud en el Trabajo, una revisión teórica desde la minería colombiana. *Revista Venezolana de Gerencia*, 24(85).
- Huanchuari Flores, S. (2009). *La Prevención de los riesgos ocupacionales mineros como responsabilidad de la empresa* [Doctoral Thesis]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos .

- Hurtado de Barrera, J. (2000). *Metodología de la investigación holística*. Fundación Sypal.
- Iannacchione, A. T., & Mark, C. (2009). Major hazard risk assessment applied to pillar recovery operations. *Proceedings of the 28th International Conference on Ground Control in Mining*. Morgantown, West Virginia University, USA, 261–270.
- International Labour Organization. (1995). *Convention C176 - safety and health in mines convention, 1995 (no. 176)*. Ilo.Org.  
[https://www.ilo.org/dyn/normlex/en/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100\\_ILO\\_CODE:C176](https://www.ilo.org/dyn/normlex/en/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_ILO_CODE:C176)
- International Organization for Standardization. (2018). *Occupational health and safety management systems - Requirements with guidance for use (I. S. O, Ed.)*.  
<https://www.iso.org/standard/63787.html>
- Jaramillo Melo, E. L., & Barrera Duarte, M. D. (2018). *Factores que intervienen en el desarrollo de neumoconiosis en trabajadores de explotación de minas de carbón*.  
<https://repositorio.uniajc.edu.co/handle/uniajc/978>
- Laguado Nieto, Z. Y. (2022). *Evaluar la eficacia de la normativa ambiental en la explotación de carbón en el departamento de Norte de Norte de Santander* [Specialisation Thesis].  
Fundación Universitaria de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Li, X., Yang, X., Sun, X., Xue, Q., Ma, X., & Liu, J. (2021). Associations of musculoskeletal disorders with occupational stress and mental health among coal miners in Xinjiang, China: a cross-sectional study. *BMC Public Health*, 21(1), 1327.  
<https://doi.org/10.1186/s12889-021-11379-3>

- Li, Y., Ji, L., Mi, W., Xie, S., & Bi, Y. (2021). Health risks from groundwater arsenic on residents in northern China coal-rich region. *Science of The Total Environment*, 773, 145003. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145003>
- Martínez Garcés, J., & Nariño, C. U. A. de. (2020). *Avances en investigación científica. Tomo II: Ciencias económicas y sociales* (1st ed.). Sello editorial AUNAR Cali, Colombia. <https://doi.org/10.47666/avances.inv.2>
- Mine Safety and Health Administration (MSHA). (n.d.). *MSHA glossary of terms*. UTexas.Edu.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). *Aguas Subterráneas y Acuíferos*. Colombia: Potencia de La Vida. <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/aguas-subterraneeas-y-acuiferos/>
- Ministerio de Minas y Energía. (n.d.). *Guía ambiental: Minería subterránea del carbón*. Retrieved June 8, 2023, from [http://www.upme.gov.co/guia\\_ambiental/carbon/gestion/guias/min\\_sub/contenid/analisis.htm](http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/guias/min_sub/contenid/analisis.htm)
- Ministerio de Minas y Energía. (2003). *Glosario técnico minero*. Agencia Nacional de Minería. Decreto 1886 de 2015 , Pub. L. No. 1886 (2015).
- Ministerio del trabajo. (2019). Implementación de los Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo al Año 2020 - Ministerio del trabajo. In <https://www.mintrabajo.gov.co/>. <https://www.mintrabajo.gov.co/relaciones-laborales/riesgos-laborales/sistema-de-gestion-de-seguridad-y-salud-en-el-trabajo/implementacion-de-los-sistemas-de-gestion-de-seguridad-y-salud-en-el-trabajo-al-ano-2020>
- Resolución 0312 de 2019, Pub. L. No. 0312 (2019).

- Morales Ruiz, L. S. (2020). *Riesgo en el sector minero en Colombia a nivel ambiental*.
- Moran, M. (2015). Agua y saneamiento. In *Desarrollo Sostenible*.
- Naranjo Galván, C. C., & Valencia Nieto, B. (2022). *Monografía gestión ambiental, normatividad aplicada a las empresas* [Bachelor Degree Thesis]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD de Colombia.
- Nicolaci, M. (2008). Condiciones y medio ambiente de trabajo. *CyMAT. Hologramática*, 2(8), 3–48.
- Organización Internacional del Trabajo. (1965). *Guía para la prevención y la supresión del polvo en las minas, los tuneles y las canteras* (1st ed.). Seguridad y salud en el trabajo.
- Osores Plenge, F., Rojas Jaimes, J. E., & Manrique Lara Estrada, C. H. (2012). Minería informal e ilegal y contaminación con mercurio en Madre de Dios: Un problema de salud pública. *Acta Médica Peruana*, 29, 38–42.
- Paz Apraez, N. J., & Zambrano Ojeda, J. C. (2022). *Análisis de la exposición a los factores de riesgo biológico en los trabajadores de la minería en Colombia*. [Bachelor Degree Thesis]. Universidad CES.
- Peña Neira, S., & Araya Meza, P. (2021). Aguas de contacto, efectos en la minería y el medioambiente. *Revista de La Facultad de Derecho*.  
<https://doi.org/10.22187/rfd2021n50a6>
- Puelles Lizana, D. I. (2022). *Higiene ocupacional en Unidad Minera San Rafael – Minsur: Evaluación de factores de riesgo y estándares de salud* [Master Thesis]. Universidad Nacional de Piura.
- Rashid, A., Ayub, M., Ullah, Z., Ali, A., Sardar, T., Iqbal, J., Gao, X., Bundschuh, J., Li, C., Khattak, S. A., Ali, L., El-Serehy, H. A., Kaushik, P., & Khan, S. (2023). Groundwater

- Quality, Health Risk Assessment, and Source Distribution of Heavy Metals Contamination around Chromite Mines: Application of GIS, Sustainable Groundwater Management, Geostatistics, PCAMLR, and PMF Receptor Model. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(3), 2113. <https://doi.org/10.3390/ijerph20032113>
- Riaño Solano, M., Luna Pereira, H. O., & González Mendoza, J. A. (2022). Productividad del valor agregado y estilos de liderazgo. Sector minero Norte de Santander, Colombia. *Revista Boletín Redipe*, 10(13), 549–560. <https://doi.org/10.36260/rbr.v10i13.1769>
- Ruiz Duarte, L. C. (2022). *Efectos de los metales pesados asociados al proceso de extracción y obtención de oro en la calidad de los cuerpos de agua subterráneos en el Páramo de Santurbán reportados en la literatura.*
- Ruiz Ruiz, L. (2011). *Manipulación Manual de Cargas: Guía técnica del INSHT* (1st ed.). Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Salter, R. B. (2000). *Trastornos y Lesiones del Sistema Musculoesqueletico: Introduccion a la Ortopedia, Fracturas y Lesiones Articulares, Reumatologia, Osteopatia Metabolica y Rehabilitacion* (3rd ed.). Masson.
- Samal, P., Mohanty, A. K., Khaoash, S., & Mishra, P. (2022). Hydrogeochemical Evaluation, Groundwater Quality Appraisal, and Potential Health Risk Assessment in a Coal Mining Region of Eastern India. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233(8), 324. <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05811-6>
- Samarghandian, S., Shirazi, F. M., Saeedi, F., Roshanravan, B., Pourbagher-Shahri, A. M., Khorasani, E. Y., Farkhondeh, T., Aaseth, J. O., Abdollahi, M., & Mehrpour, O. (2021). A systematic review of clinical and laboratory findings of lead poisoning: lessons from

- case reports. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 429, 115681.  
<https://doi.org/10.1016/j.taap.2021.115681>
- Saptono, S., Yulianto, M. R., Vergiagara, V., & Sofyan, H. (2020). *Rock mass classification for sedimentary rock masses in Indonesia coal mining areas*. 090012.  
<https://doi.org/10.1063/5.0007049>
- Silva-Leal, J. A., Leal-Magón, Á. M., Arismendi-Henao, J. P., & Pérez-Vidal, A. (2021). Uso de humedales de flujo subsuperficial con *Phragmites australis* como alternativa de biorremediación de fuentes superficiales afectadas por drenajes ácidos de minas de carbón. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 12(6), 196–238. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2021-06-05>
- Skousen, J. G., Ziemkiewicz, P. F., & McDonald, L. M. (2019). Acid mine drainage formation, control and treatment: Approaches and strategies. *The Extractive Industries and Society*, 6(1), 241–249. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2018.09.008>
- Solórzano Arroyo, O. (2014). *Manual de conceptos de riesgos y factores de riesgo para análisis de peligrosidad* (1st ed.). Sector Agroalimentario.
- Stack, T., Ostrom, L. T., & Wilhelmsen, C. A. (2016). *Occupational ergonomics: A practical approach* (1st ed.). John Wiley & Sons.
- Tancara Q, C. (1993). LA INVESTIGACION DOCUMENTAL. *Temas Sociales*, 17, 91–106.
- Thakkar, L., Jain, R. K., Pingle, S., Barde, S., & Arakera, S. B. (2022). *The Scope for Early Diagnosis of Noise-Induced Hearing Loss Among Mine and Industrial Workers: A Brief Review* (pp. 187–213). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-99495-2\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-99495-2_8)
- Tovar Pacheco, J. A. (2020). El agua subterránea en el medio ambiente minero y su importancia en los planes de cierre. *Ministerio de Energía y Minas*, 1(1).

- UNICEF Innocenti Research Centre. (2007). Salud y seguridad. In *Pobreza Infantil en Perspectiva* (pp. 12–17). UN-iLibrary. <https://doi.org/10.18356/6dd6fe59-es>
- Wang, H., Meng, R., Wang, X., Si, Z., Zhao, Z., Lu, H., Wang, H., Hu, J., Zheng, Y., Chen, J., Zheng, Z., Chen, Y., Yang, Y., Li, X., Xue, L., Sun, J., & Wu, J. (2023). Development and Internal Validation of Risk Assessment Models for Chronic Obstructive Pulmonary Disease in Coal Workers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *20*(4), 3655. <https://doi.org/10.3390/ijerph20043655>
- Xiao, W., Fu, Y., Wang, T., & Lv, X. (2018). Effects of land use transitions due to underground coal mining on ecosystem services in high groundwater table areas: A case study in the Yanzhou coalfield. *Land Use Policy*, *71*, 213–221. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.11.059>