

**CARACTERIZACIÓN DE LAS AMENAZAS Y VULNERABILIDADES EN ÁREAS  
MINERAS EN ESTADO DE ABANDONO – AMEA COMO ELEMENTOS  
FUNDAMENTALES PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS**

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE  
MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:  
LAURA LIZETH MADERO GUTIÉRREZ**  
Ing. Ambiental y Sanitaria

**DIRECTOR:  
ARMANDO SARMIENTO LÓPEZ**  
Economista, Esp. en modelamiento geográfico, MSc. Hidrosistemas



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y RURALES  
MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL  
BOGOTÁ D.C.  
Mayo, 2021**

**ARTÍCULO 23, RESOLUCIÓN #13 DE 1946.**

“La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Sólo velará porque no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y porque las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vean en ellas el anhelo de buscar la verdad y la justicia”

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1 Planteamiento del problema .....	3
1.2 Justificación.....	6
1.3 Pregunta de investigación.....	6
2. OBJETIVOS.....	7
2.1 Objetivo general .....	7
2.2 Objetivos específicos.....	7
3. MARCO DE REFERENCIA .....	8
3.1 Marco conceptual .....	8
3.2 Marco teórico .....	12
3.2.1 <i>La actividad minera en Colombia</i> .....	12
3.2.2 <i>La gestión ambiental minera</i> .....	14
3.2.3 <i>Efectos ambientales en la minería</i> .....	16
3.3 Marco legal.....	20
3.4 Antecedentes .....	22
4. METODOLOGÍA .....	23
4.1 Fase de recopilación .....	23
4.2 Fase de análisis.....	26
4.3 Fase de diseño .....	29
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	30
5.1 Inventario y localización de AMEA .....	30
5.2 Identificación y caracterización de potenciales amenazas .....	34
5.3 Identificación y caracterización de potenciales vulnerabilidades .....	41
5.4 Estimación del riesgo.....	44
5.5 Protocolo de recomendaciones para la evaluación semi-cuantitativa de riesgos en AMEA .....	48
5.5.1 <i>Recopilación y levantamiento de la información</i> .....	49
5.5.2 <i>Georreferenciación de información</i> .....	52
5.5.3 <i>Modelo conceptual inicial de la AMEA</i> .....	53
5.5.4 <i>Identificación de escenarios de riesgo</i> .....	57
5.5.5 <i>Estimación de amenazas</i> .....	59
5.5.6 <i>Estimación de vulnerabilidades</i> .....	59

5.5.7	<i>Estimación del riesgo</i> .....	60
6.	CONCLUSIONES.....	62
7.	RECOMENDACIONES .....	64
	Referencias .....	66

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> AMEA por departamento y tipo de mineral.....	5
<b>Tabla 2.</b> Cartografía básica y temática consultada en fuentes oficiales. ....	25
<b>Tabla 3.</b> Valores para estimación de la amenaza.....	26
<b>Tabla 4.</b> Rangos para estimación de la amenaza por AMEA. ....	27
<b>Tabla 5.</b> Categorías de proximidad.....	27
<b>Tabla 6.</b> Criterios de calificación de vulnerabilidad ambiental y social. ....	28
<b>Tabla 7.</b> Rangos para estimación del nivel de riesgo por AMEA. ....	28
<b>Tabla 8.</b> Inventario de AMEA georreferenciadas. ....	30
<b>Tabla 9.</b> Principales hallazgos empleados para la identificación y estimación de las amenazas. .	34
<b>Tabla 10.</b> Identificación de potenciales amenazas para las AMEA a cielo abierto.....	35
<b>Tabla 11.</b> Identificación de potenciales amenazas para las AMEA subterráneas. ....	36
<b>Tabla 12.</b> Identificación de potenciales amenazas para las AMEA aluviales. ....	36
<b>Tabla 13.</b> Identificación de AMEA por categoría de proximidad en elementos ambientales.....	41
<b>Tabla 14.</b> Identificación de AMEA por categoría de proximidad en elementos sociales. ....	42
<b>Tabla 15.</b> Identificación de AMEA por vulnerabilidad ambiental y social.....	42
<b>Tabla 16.</b> Priorización de AMEA por nivel de riesgo. ....	45
<b>Tabla 17.</b> Información para la caracterización de las AMEA. ....	49
<b>Tabla 18.</b> Fenómenos/situaciones a identificar por método de extracción para riesgo por seguridad. .....	51
<b>Tabla 19.</b> Parámetros clave a monitorear por tipo de mineral para riesgo por contaminación. ....	51
<b>Tabla 20.</b> Criterios para la identificación de contaminantes en el modelo conceptual inicial. ....	55
<b>Tabla 21.</b> Principales vías de exposición por rutas de exposición. ....	56
<b>Tabla 22.</b> Rangos de valoración de la probabilidad de ocurrencia de un hecho. ....	59
<b>Tabla 23.</b> Rango de valoración de la vulnerabilidad en el entorno ambiental, social y económico. .....	60
<b>Tabla 24.</b> Matriz de clasificación de riesgo.....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diagrama de flujo de la metodología para el desarrollo de la investigación.....	23
<b>Figura 2.</b> Distribución de las áreas mineras en estado de abandono – AMEA en Colombia.....	33
<b>Figura 3:</b> AMEA priorizadas por amenazas altas. ....	40
<b>Figura 4:</b> AMEA priorizadas por vulnerabilidad ambiental alta. ....	43
<b>Figura 5:</b> AMEA priorizadas por vulnerabilidad social alta. ....	43
<b>Figura 6:</b> AMEA priorizadas por nivel de riesgo ambiental alto.....	45
<b>Figura 7:</b> AMEA priorizadas por nivel de riesgo social alto. ....	46
<b>Figura 8.</b> Elementos del modelo conceptual de la AMEA.....	54
<b>Figura 9.</b> Ejemplo diagrama modelo conceptual para riesgo de seguridad.....	58
<b>Figura 10.</b> Ejemplo diagrama modelo conceptual para riesgo de contaminación.....	58

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

**Ilustración 1.** Afectación del río Dagua en Valle del Cauca por minería aluvial de oro. ....47

## ÍNDICE DE ANEXOS

**Anexo 1.** Mapas de localización de AMEA y de superposición con información de las temáticas a nivel físico, biótico y social.

**Anexo 2.** Estimación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

## RESUMEN

En Colombia las Áreas Mineras en Estado de Abandono – AMEA (legales e ilegales) se han convertido en uno de los principales desafíos que afrontan las autoridades ambientales y mineras en el país desde hace varios años; el panorama se agrava, dado que en la actualidad alrededor del 63% de la minería en el país es ilegal (CGR, 2017) y cuando estas unidades de producción cesen su actividad productiva, abandonarán las áreas en las cuales se desarrollan sin ningún control técnico ambiental. Por esta razón, el presente trabajo de investigación aborda la caracterización de las amenazas y vulnerabilidades, como elementos fundamentales para una evaluación de riesgos por contaminación y seguridad en 169 AMEA bajo un enfoque cualitativo descriptivo que se basó en la recopilación y análisis de información secundaria. Dicho análisis demuestra que las principales amenazas generadas por las AMEA se relacionan con falla de taludes, deslizamientos, subsidencias, generación de drenaje ácido de mina y lixiviación de sustancias tóxicas contenidas en los relaves, estériles y demás material de desecho con posibles contenidos de cianuro, metales pesados y otros contaminantes, y que la minería aluvial de oro en el departamento de Chocó es la que representan el mayor nivel de riesgo por contaminación y seguridad para los ecosistemas y salud humana. Finalmente, se propone un protocolo de recomendaciones para realizar una evaluación semi-cuantitativa de riesgos en dichas áreas que permita priorizarlas para su intervención y definir acciones de remediación, restauración o gestión del riesgo, y se concluye que la no existencia de un inventario completo y consolidado de AMEA y la desarticulación entre entidades e instituciones del Gobierno limita y complejiza su evaluación, priorización y definición de acciones para su intervención.

**Palabras clave:** amenaza, vulnerabilidad, riesgo, AMEA.

## ABSTRACT

In Colombia, the Abandoned Mining Areas - AMEAs (legal and ilegal) have become one of the main challenges faced by the environmental and mining authorities in the country for several years; the panorama worsens, given that currently around 63% of mining in the country is illegal (CGR, 2017) and when these production units cease their productive activity, they will abandon the areas in which they are carried out without any environmental technical control. For this reason, this research work addresses the characterization of threats and vulnerabilities, as fundamental elements for an assessment of risks due to contamination and security in 169 AMEAs under a descriptive qualitative approach that was based on the collection and analysis of secondary information. This analysis shows that the main threats generated by the AMEAs are related to slope failure, landslides, subsidences, generation of acid mine drainage and leaching of toxic substances contained in tailings, waste materials and other waste material with possible cyanide content. heavy metals and other pollutants, and that alluvial gold mining in the department of Chocó is the one that represents the highest level of risk due to contamination and security for ecosystems and human health. Finally, a protocol of recommendations is proposed to carry out a semi-quantitative evaluation of risks in these areas that allows prioritizing them for intervention and defining remediation, restoration or risk management actions, and it is concluded that the non-existence of a complete and consolidated inventory of AMEA and the disarticulation between government entities and institutions limits and complicates its evaluation, prioritization and definition of actions for its intervention.

**Keywords:** threat, vulnerability, risk, AMEA.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Planteamiento del problema

En Colombia, las Áreas Mineras en Estado de Abandono – AMEA se han convertido en uno de los principales desafíos que afrontan las autoridades ambientales y mineras en el país desde hace varios años. Las AMEA son consideradas como áreas que en el pasado fueron degradadas por la extracción ilícita de minerales por parte de actores que no contaban con título minero o que, si contaban con título, pero no efectuaron los protocolos de cierre para garantizar que no habría afectación al ambiente y salud humana (UNAL y Minminas, 2014 y UPME, 2017).

Las consecuencias generadas a partir de estas minas abandonadas son evidenciadas a través del deterioro de los sistemas socio ambientales en los cuales se desarrollaron, y que no se revierten simplemente con el cese de la actividad, sino que en ocasiones son irreversibles y de gran magnitud (Arango, 2012).

Entre los impactos ambientales más frecuentes de las AMEA se encuentran: paisajes físicamente alterados, subsidencia, deslizamientos, combustión espontánea de desechos de carbón, contaminación de aguas superficiales y subterráneas, contaminación de suelos, pérdida de vegetación y fauna (Worrall et al. 2009). Por su parte, los impactos sociales están directamente relacionados con los ambientales, y se materializan porque se altera un bien necesario para la supervivencia humana, como el agua o el suelo productivo (Arango, 2012). En consecuencia, sus efectos son lamentables e infortunados para el ambiente, la sociedad y la economía del país.

Por lo anterior, uno de los mayores daños de las AMEA, incluyendo la extracción ilícita de minerales, consiste en el deterioro de los recursos naturales. A pesar de ser un problema identificado hace décadas, actualmente el país no cuenta mecanismos para la identificación, recuperación, control y seguimiento de dichas áreas; lo que quiere decir, que sus efectos los terminan asumiendo, al menos en principio, las comunidades más vulnerables y próximas al escenario, constituyendo un claro ejemplo de injusticia ambiental (La Rotta & Torres, 2017).

El problema se agrava, ya que de acuerdo con las cifras del más reciente Censo Minero 2010-2011 (Minminas, 2012), cerca del 63% de las unidades de producción mineras censadas no

cuentan con título minero; unidades de producción que, cuando cesen su actividad productiva, abandonarán las áreas en las cuales se desarrollan sin ningún control técnico ambiental.

Las AMEA pueden generar riesgo de seguridad o de contaminación para la salud humana y ecosistemas. El riesgo por seguridad se debe a la estabilidad física de las áreas donde ha sido desarrollada la actividad, y el riesgo por contaminación se debe a la presencia de sustancias nocivas en el ambiente (Chaparro & Oblasser, 2008).

En minas abandonadas, los riesgos de seguridad provienen de bocaminas, chimeneas, tajos, de la subsidencia a consecuencia de cavidades subterráneas dejadas sin rellenar, de depósitos de relaves, de canteras inundadas o con taludes inestables, entre otros; mientras que, los posibles riesgos por contaminación provienen de residuos abandonados con contenido de mercurio, cianuro, arsénico o plomo, de drenaje ácido de mina, de depósitos de relaves, entre otros (Vidalón, 2017). Gran parte de las minas abandonadas en el país presentan niveles de riesgo significativo para la seguridad o la salud de la población y el ambiente (IPBES, 2019a), por lo que aquellas que presenten este nivel de riesgo, deberán constituirse como prioritarias para su intervención.

El más reciente inventario de minas abandonadas en Colombia corresponde al publicado en el periodo de 1999-2000 por Minminas e INGEOMINAS, donde se relacionan 482 minas abandonadas a esa fecha. Los departamentos de Chocó, Risaralda, Córdoba, Quindío, Cauca y Cundinamarca, concentraban la mayor proporción de minas abandonadas para el año 2000 (IPBES, 2019a).

En años más recientes, se han realizado algunos diagnósticos por parte de la academia, entidades públicas y empresas privadas, tal es el caso del *“Estudio diagnóstico de las áreas afectadas por actividades mineras en estado de abandono de algunos de los municipios de los departamentos de Chocó, Santander y Valle del Cauca”*, realizado por la Universidad Industrial de Santander - UIS y Minminas (2014), el producto del contrato de consultoría *“Diseño de una estrategia integral para la gestión de Pasivos Ambientales en Colombia”* suscrito entre INNOVA S.A.S. y Minambiente (2015), las cifras preliminares reportadas por la UPME (2017) de las AMEA para algunos departamentos y municipios, el *“Estudio diagnóstico de las áreas afectadas por actividades mineras en estado de abandono de algunos de los municipios de los departamentos de Antioquia, Vichada y Guainía”*, realizado por la Universidad Nacional - UNAL de Medellín con

el apoyo Minminas, el Departamento Nacional de Planeación - DNP y la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional - USAID (2018). Dichas investigaciones, reflejan a la fecha un inventario de 1056 AMEA para algunos departamentos de Colombia (Tabla 1). Cabe resaltar que, las cifras reportadas por INNOVA y Minambiente (2015) (273 AMEA), se excluyen del siguiente inventario, toda vez que no reportan el tipo de mineral para las AMEA identificadas.

**Tabla 1.** AMEA por departamento y tipo de mineral.

Dpto.	Mineral	AMEA	Dpto.	Mineral	AMEA
Bolívar	Oro	88	Antioquia	Oro	257
	Materiales de construcción	5		Carbón	99
Boyacá	Materiales de construcción	38		Materiales de construcción	4
	Carbón	12		Arena	1
	Cobre y hierro	1	Vichada	Materiales de construcción	40
	Esmeralda	15	Guainía	Oro	17
Cauca	Oro	29		Materiales de construcción	5
	Materiales de construcción	24	Tolima	Oro	5
Córdoba	Oro	12		Materiales de construcción	81
	Materiales de construcción	5		Cobre y hierro	5
Cundinamarca	Materiales de construcción	23		Esmeralda	4
	Carbón	2	Valle del cauca	Oro	10
Norte de Santander	Materiales de construcción	32		Materiales de construcción	13
	Carbón	32		Carbón	12
Santander	Oro	51		Magnesita	1
	Materiales de construcción	28	Sílice	3	
	Fluorita	1	Bauxita	1	
Chocó	Oro	100	<b>Total</b>		<b>1056</b>

**Fuente:** UIS y Minminas (2014), UPME (2017) y UNAL, Minminas, DNP y USAID (2018).

La anterior información, muestra que de las 1056 AMEA, 569 (53,9%) corresponden a extracción de oro, 298 (28,2%) a extracción de materiales de construcción y 157 (14,9%) a minería de carbón; y los departamentos con mayor presencia de AMEA son Antioquia con 361 (34,2%), Chocó con 100 (9,5%), Tolima con 95 (9,0%) y Bolívar con 93 (8,8%).

La extracción de oro es una de la más preocupantes, ya que de acuerdo con las cifras del más reciente Censo Minero 2010-2011 (Minminas, 2012), cerca del 87% de las unidades de producción mineras censadas no cuenta con título minero. Los departamentos con mayor

producción de oro son: Antioquia con un 42%, seguido de Chocó con un 37% (IDEAM, 2018). Dichas extracciones se caracterizan por hacer uso de mercurio y cianuro, sustancias altamente tóxicas, que son vertidas finalmente al suelo y agua produciendo posibles efectos dañinos en el ambiente y salud humana.

Teniendo en cuenta el incremento de AMEA reportadas del año 2000 (482) al 2018 (1056), y considerando que estas últimas no corresponden a la totalidad del territorio colombiano, se considera indispensable que una vez identificadas y diagnosticadas se realice su priorización para su intervención por parte del Estado. Dicha priorización se debe realizar en función del riesgo que genera la AMEA, el cual varía con base en las amenazas naturales o antrópicas y la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

## **1.2 Justificación**

De acuerdo con INNOVA S.A.S y Minambiente (2015), uno de los sectores económicos con mayor potencial de generar AMEA es el minero, con el 41%. Basados en esta cifra, en los retos del sector minero frente a la minería ilegal, la cual representa el 63% del total de la minería en el país (Minminas, 2012), en los efectos negativos ocasionados por las AMEA (legales e ilegales) y en la falta de regulación de la gestión integral de AMEA en el país, es necesario partir de la identificación de las mismas en todo el territorio colombiano y realizar su priorización basados en un análisis de riesgos.

Por lo anterior, la presente investigación, representa desde el ámbito académico un aporte técnico al sector minero y ambiental al diagnosticar el panorama general de la gestión de AMEA en el país, y al presentar recomendaciones que orienten los procesos de valoración de riesgos con potencial de ejercer efectos negativos sobre el ambiente y la salud humana, tanto en las AMEA como en sus zonas de influencia y permitan establecer prioridades frente a necesidades de intervención.

## **1.3 Pregunta de investigación**

¿Cuáles son las potenciales amenazas y vulnerabilidades generadas por efecto de las áreas mineras en estado de abandono – AMEA en Colombia?

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Realizar la caracterización de las potenciales amenazas y vulnerabilidades generadas por efecto de las áreas mineras en estado de abandono – AMEA en Colombia y su respectiva estimación de riesgos.

### **2.2 Objetivos específicos**

Identificar las potenciales amenazas y vulnerabilidades asociadas a las áreas mineras en estado de abandono – AMEA y priorizarlas por nivel de riesgo.

Generar un protocolo de recomendaciones para evaluar de manera semi-cuantitativa los riesgos asociados a las potenciales amenazas y vulnerabilidades generadas por efecto de las áreas mineras en estado de abandono – AMEA.

### 3. MARCO DE REFERENCIA

#### 3.1 Marco conceptual

**Amenaza:** Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales (Ley 1523 de 2012).

**Amenaza natural:** Son inherentes a la dinámica de la naturaleza y en su ocurrencia no hay responsabilidad del ser humano y tampoco está en capacidad de evitar que se produzcan (Vargas, 2010).

**Amenaza tecnológica:** Están asociadas con accidentes tecnológicos o industriales, procedimientos peligrosos, fallos de infraestructura o de ciertas actividades humanas, que pueden causar muerte o lesiones, daños materiales, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental (Vargas, 2010).

**Análisis de riesgos:** Proceso para comprender la naturaleza del riesgo y determinar el nivel de riesgo (ISO 31000:2011).

**Criterio de proximidad:** Categoría empleada para la clasificación de los niveles de vulnerabilidad (alta, media y baja) basado en la proximidad (distancia) de las AMEA con respecto a los elementos ambientales y sociales expuestos (Autora, 2021).

**Drenaje ácido de mina:** Es la formación de aguas ácidas, ricas en sulfatos, hierro y metales pesados que se generan debido a la oxidación de estos elementos en presencia de agua y oxígeno. Por lo general, se caracteriza por poseer valores de pH entre 2 y 6, predominando elevadas concentraciones de sulfatos (SO<sub>4</sub>), hierro (Fe), Manganeseo (Mn) y Aluminio (Al) (Aduvire, 2006).

**Escoria:** Son un subproducto de la fundición de la mena para purificar los metales. Durante la fundición, cuando la mena está expuesta a altas temperaturas, estas impurezas se separan del metal fundido y se pueden retirar. La colección de compuestos que se retira es la escoria. Se pueden considerar como una mezcla de óxidos metálicos; sin embargo, pueden contener sulfuros de metal y átomos de metal en forma de elemento. (UIS y Minminas, 2014).

**Estéril:** 1. Se dice de la roca o del material de vena que prácticamente no contiene minerales de valor y que es necesario remover durante la operación minera para extraer el mineral útil. 2. Escombros que se forman cuando se explotan las minas. En las explotaciones mineras se utiliza el mineral aprovechable, pero el resto del material que acompaña al mineral y no es útil se deja acumulado cerca de las galerías o explotaciones mineras en forma de derrubios. 3. Material sin valor económico que cubre o es adyacente a un depósito de mineral y que debe ser removido antes de extraer el mineral (UIS y Minminas, 2014).

**Evaluación de riesgos:** Proceso de comparación de los resultados del análisis del riesgo con los criterios del riesgo para determinar si el riesgo, su magnitud o ambos son aceptables o tolerables (ISO 31000:2011).

**Evaluación cualitativa de riesgos:** Método de evaluación de riesgos en donde la clasificación en la escala se basa en apreciaciones subjetivas, que, si bien tienen relevancia, pues se basan en la experiencia, siempre serán el resultado de una emoción humana y no de un hecho científico (Escuela Europea de Excelencia, 2020).

**Evaluación cuantitativa de riesgos:** Método de evaluación de riesgos que utiliza datos disponibles, relevantes y verificables para generar un valor numérico que permita establecer la probabilidad y el impacto de un riesgo. Así, la evaluación cuantitativa requiere datos de alta calidad, un modelo desarrollado del proyecto y, habitualmente, se aplica sobre riesgos que ya han sido priorizados en base en una evaluación cualitativa o semi-cuantitativa de riesgos (Escuela Europea de Excelencia, 2020).

**Evaluación semi-cuantitativa de riesgos:** Método de evaluación de riesgos que no llega al detalle y rigor de una evaluación cuantitativa del riesgo, suponen un avance hacia ello desde los métodos cualitativos, en el sentido de que son métodos que dan como resultado una clasificación relativa del riesgo. No requiere las mismas habilidades matemáticas que la evaluación de riesgos cuantitativa, ni requiere la misma cantidad de datos, lo que significa que puede aplicarse a riesgos y estrategias donde faltan datos precisos (Naivares, 2018).

**Exposición:** Se refiere a la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios ambientales y recursos económicos y sociales, bienes culturales e infraestructura que por su localización pueden ser afectados por la manifestación de una amenaza (Ley 1523 de 2012).

**Impacto ambiental:** Cualquier alteración en el medio ambiental biótico, abiótico y socioeconómico, que sea adverso o beneficioso, total o parcial, que pueda ser atribuido al desarrollo de un proyecto, obra o actividad (Decreto 1076 de 2015).

**Minería ilícita:** La explotación ilícita de yacimientos mineros, se configura cuando se realicen trabajos de exploración, de extracción o captación de minerales de propiedad nacional o de propiedad privada, sin el correspondiente título minero vigente o sin la autorización del titular de dicha propiedad (Ley 685 de 2001).

**Minería legal:** Es la minería amparada por un título minero, que es el acto administrativo escrito mediante el cual se otorga el derecho a explorar y explotar minas de propiedad estatal, y que deberá estar inscrito en el Registro Minero Nacional (Ley 685 de 2001).

**Planta de beneficio o transformación:** Instalación en la que se procesan los minerales provenientes de las minas hasta obtener el metal deseado. Se entiende por transformación la modificación mecánica o química del mineral extraído y beneficiado, a través de un proceso industrial del cual resulte un producto diferente no identificable con el mineral en su estado natural (Ley 685 de 2001).

**Probabilidad:** Hace referencia a la oportunidad de que algo suceda, esté o no definido, medido o determinado objetiva o subjetivamente, cualitativa o cuantitativamente, y descrito utilizando términos generales o matemáticos, como la probabilidad numérica o la frecuencia en un periodo de tiempo determinado (ISO 31000:2011).

**Riesgo:** Corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad (Ley 1523 de 2012).

**Riesgo de seguridad:** Es el riesgo que se genera debido a la estabilidad física de las áreas donde ha sido desarrollada cierta actividad (Chaparro & Oblasser, 2008).

**Riesgo de contaminación:** Es el riesgo que se genera debido a la presencia de sustancias nocivas en el ambiente, que ocasiona efectos adversos a la salud humana y/o al ambiente (Chaparro & Oblasser, 2008).

**Registro Único de Ecosistemas y Áreas Ambientales – REAA:** es un registro que identifica y prioriza ecosistemas y áreas ambientales del territorio nacional, con excepción de las áreas protegidas registradas en el Registro Único Nacional de Área Protegidas (RUNAP), en las que se podrán implementar Pagos por Servicios Ambientales (PSA) y otros incentivos y/o instrumentos orientados a la conservación. Incluye ecosistemas o áreas ambientales de importancia ecológica debido al mantenimiento de biodiversidad y la oferta de servicios ecosistémicos; ecosistemas o áreas que presentan valores de biodiversidad que persisten y cuentan con condiciones especiales en términos de representatividad, remanencia, rareza, además de considerarse frágiles, amenazados o en peligro de extinción; ecosistemas o áreas que mantienen el hábitat de especies importantes para la conservación (endémicas, con distribución restringida, amenazadas o en peligro de extinción, migratorias, congregarias) y/o grupos funcionales de especies; ecosistemas o áreas susceptibles y/o priorizadas para la conservación; y ecosistemas o áreas con categorías legales de protección ambiental siempre y cuando no pertenezcan al RUNAP (SIAC, 2020).

**Relaves:** Colas o desechos de plantas de concentración de minerales, usualmente constituido por una mezcla de rocas molidas, agua y minerales de ganga (UIS y Minminas, 2014).

**Vulnerabilidad:** Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos (Ley 1523 de 2012).

**Vulnerabilidad ambiental:** Se relaciona con la susceptibilidad o predisposición intrínseca del medio y los recursos naturales a sufrir un daño o una pérdida. Dichos elementos del medio natural, pueden ser físicos o biológicos. La vulnerabilidad ambiental de una determinada región implica comprender con precisión la susceptibilidad, resistencia y fragilidad de los ecosistemas

respecto a las amenazas que pueden llegar a desencadenar desastres naturales (UIS y Minminas, 2014).

**Vulnerabilidad social:** Condiciones de individuos, hogares o colectivos que limitan su capacidad de evitar un serio daño para ellos en una situación de riesgo (Ruiz, 2011).

## **3.2 Marco teórico**

### **3.2.1 *La actividad minera en Colombia***

En Colombia, existen diferentes escalas de explotación minera, cada una de ellas representadas por diferentes estándares de producción y medidas ambientales. Por una parte, la pequeña minería es la más numerosa cuando se habla de unidades de producción, dado que representa una oportunidad única para las personas en situación de pobreza, principalmente en las zonas rurales más apartadas y con altos índices de necesidades básicas insatisfechas (Güiza, 2013). Así mismo, se caracteriza por tener deficiencias en su planificación y desempeño, representado en el bajo conocimiento de los recursos y las reservas, elevados costos de producción, limitado uso de tecnología en sus procesos y altos niveles de ilegalidad (Minminas, 2016).

De otra parte, existen los proyectos de mediana escala de producción, los cuales se caracterizan porque tienen un mayor conocimiento de los recursos y las reservas. Sin embargo, los niveles de legalidad, seguridad industrial y manejo de los impactos ambientales y sociales derivados de sus procesos siguen siendo débiles. De otra parte, la mecanización de los procesos productivos es mayor en comparación con la pequeña minería (Martínez, 2012).

Así mismo, existen los grandes proyectos mineros que se caracterizan por los mayores niveles de formalización y legalidad, se realizan bajo las mejores condiciones y estándares técnicos, económicos, ambientales y sociales, y representan un gran aporte en la generación de ingresos en el país (Minminas, 2016).

Según el Censo Minero del 2010-2011, de las 14.357 Unidades de Producción Minera (UPM) en los 23 departamentos censados, el 79,5% son minas de pequeña escala, de las cuales el 34,5% cuenta con título minero y el 65,5% no cuenta con título minero; el 17,2% corresponden a minas medianas, de las cuales el 41,9% cuentan con título minero y el 58,1% no cuentan con título

minero; y el 3,3% corresponden a grandes minas, de las cuales el 67,1% cuenta con título minero y el 32,9% no tienen título minero.

Las UPM sin título minero, además de no contar con instrumento de manejo y control ambiental, como Plan de Manejo Ambiental y/o licencia ambiental, se caracterizan por no contar con herramientas empresariales para el buen desarrollo administrativo de la actividad, como registros contables e inventarios, y no implementar acciones de seguridad, higiene y salud ocupacional.

La minería en Colombia se caracteriza por la producción de minerales, principalmente de carbón, oro, esmeraldas y materiales de construcción (Minminas, 2016). Cerca del 48% de las unidades de extracción de minerales se realizan sobre los minerales no metálicos, el 33% se realiza sobre minerales metálicos y el 19% sobre carbón (Minminas, 2011), siendo este último el de mayor interés nacional y estratégico debido a su aporte al PIB del país (Minminas, 2019). Los principales proyectos de carbón en Colombia se encuentran en la Guajira, Cesar, Antioquia, Córdoba, Boyacá, Santander y Norte de Santander, los de metales como oro y plata en Chocó, Antioquia, Córdoba, Bolívar, Santander, Cauca, Valle del Cauca y Caldas, los de esmeraldas en Cundinamarca y Boyacá y los de materiales de construcción en Antioquia, Córdoba, Boyacá, Santander, Norte de Santander, Nariño, Risaralda, Quindío y Tolima (IPBES, 2019a). En ese sentido, los departamentos que concentran la mayor actividad extractiva son Boyacá (18%), Antioquia (14%), Bolívar (10%), Cundinamarca (10%), Santander (7%), Norte de Santander (6%), Magdalena (4%), Cauca (4%), Chocó (4%) y Putumayo (4%) (Minminas, 2011).

En cuanto a los métodos de explotación, estos se pueden clasificar de manera general en: superficie o a cielo abierto, subterránea y aluvión. La minería a cielo abierto se caracteriza por desarrollarse al aire libre, para sacar o extraer los minerales que se encuentran a poca profundidad o en la superficie. En Colombia, normalmente los minerales que se extraen a cielo abierto son materiales de construcción, oro, plata, cobre y asociados, y en menos proporción de carbón (ANM, 2015).

Por su parte, las actividades mineras subterráneas son desarrolladas bajo tierra o subterráneamente, en donde los principales materiales extraídos bajo este método son: carbón, esmeraldas y oro (ANM, 2015).

En el caso de la minería aluvial, aunque esta se realiza de manera superficial, se adelanta directamente en las terrazas aluviales, en las riberas y/o en los cauces de ríos, y se caracteriza porque se desarrolla mediante dragas y retroexcavadoras que extraen el material del lecho del río, aunque también es realizada en algunos casos de forma manual, empleando procesos físicos para la separación de los minerales. Los minerales que generalmente se extraen por este tipo de método son los metálicos, especialmente oro, y los materiales de construcción (IPBES, 2019a).

Alguno de los procesos de explotación del mineral mencionados previamente, son complementados industrialmente con operaciones de transformación y beneficio, para su posterior comercialización y aprovechamiento (IPBES, 2019a).

### **3.2.2 *La gestión ambiental minera***

La explotación minera es una actividad regulada en Colombia. El Código de Minas adoptado por la Ley 685 del 2001 es el marco legal del sector minero para fomentar la exploración y explotación de los recursos mineros de propiedad estatal y privada y regular las relaciones jurídicas del Estado con los particulares por causa de los trabajos y obras de la industria minera en sus fases de prospección, exploración, construcción y montaje, explotación, beneficio, transformación, transporte y promoción de minerales. Por su parte, y en cuanto al control ambiental de dicha actividad, el Decreto 1076 del 2015 del sector ambiente, establece que, para efectos de la explotación, se requerirá de la obtención de la licencia ambiental como autorización para su desarrollo, la cual estará sujeta a control y seguimiento ambiental por parte de la autoridad ambiental competente para la verificación del cumplimiento de los requisitos establecidos en la misma desde la fase constructiva hasta la fase de desmantelamiento y abandono.

La gestión ambiental minera implica desarrollar dicha actividad de una forma técnica, sostenible y ambientalmente viable desde la fase pre constructiva hasta la de desmantelamiento y abandono; para lo cual es necesario desde la planeación de la actividad realizar una evaluación ambiental, con el fin de identificar los impactos más significativos y sobre ellos formular las medidas de prevención, mitigación, corrección y/o compensación (Minambiente, 2015). Los impactos más representativos para los cuales se formulan estas medidas de manejo son: alteración de la calidad del agua, remoción y pérdida del suelo, generación de estériles y escombros, remoción y pérdida de cobertura vegetal, cambios en el uso del suelo, modificación del paisaje y generación

de conflictos sociales (Minminas y Minambiente, 2002). Dicho análisis enmarcado es el Estudio de Impacto Ambiental – EIA que soporta la solicitud de licenciamiento ambiental, es evaluado por la autoridad ambiental competente, y en caso de ser viable en términos ambientales, es objeto de control y seguimiento durante su ejecución.

De igual manera, dentro de la gestión ambiental minera, se aborda la gestión del riesgo de acuerdo con las consideraciones previstas en la Ley 1523 de 2012 y el Decreto 2157 del 2017, la cual se soporta en el siguiente análisis:

- a) Conocimiento del riesgo: integra la identificación, caracterización y evaluación de las amenazas de origen natural, socio-natural, antrópica y operacional que puedan afectar el proyecto (exógenas) y aquellas que puedan generarse a causa de la ejecución de las actividades del mismo (endógenas); la identificación, caracterización y evaluación de la vulnerabilidad de los elementos expuestos, en la cual se incluye la cuantificación de eventuales pérdidas o daños ambientales, económicos y sociales asociados a la materialización del riesgo; la identificación, caracterización y evaluación de escenarios de riesgos que puedan materializarse teniendo en cuenta las actividades del proyecto, las características de los elementos expuestos y los posibles eventos amenazantes; y el análisis y valoración del riesgo, el cual implica conocer los riesgos que pueden afectar el proyecto o que pueden generarse a causa de la ejecución del mismo.
- b) Reducción del riesgo: busca mediante la formulación de medidas que contemplen acciones de prevención y mitigación, la disminución de amenazas y la vulnerabilidad de los elementos expuestos al riesgo, con el fin de evitar o minimizar los daños y pérdidas en caso de que este se materialice.
- c) Manejo de desastres: incluye la formulación de un plan de contingencia, que contenga las medidas de prevención, control y atención ante potenciales situaciones de emergencia derivadas de la materialización de riesgos previamente identificados.

La anterior información es aplicable y de obligatorio cumplimiento para las minas que están reguladas bajo la normativa vigente; sin embargo, para el caso de las minas abandonadas con cierres inadecuados, sin una evaluación de riesgos y sin control ambiental por parte de las autoridades competentes, los efectos negativos de los riesgos materializados no son controlados y permanecen a largo plazo, afectando ecosistemas y poblaciones vulnerables.

### 3.2.3 *Efectos ambientales en la minería*

La minería abandonada genera efectos ambientales y sociales negativos, difíciles de mitigar o controlar, y en ocasiones irreversibles. Entre los efectos ambientales y sociales más frecuentes de las minas abandonadas se encuentran:

#### *Movimientos en masa*

Los movimientos en masa incluyen todos los movimientos de ladera abajo de rocas, detritos o tierras por efecto de la gravedad (Proyecto Multinacional Andino, 2007). Entre los tipos de movimientos en masa detonados por las actividades mineras se encuentran: las caídas (derrumbes), los deslizamientos y los hundimientos (subsidiencias), que pueden ocurrir tanto en minas a cielo abierto como subterráneas.

Las minas abandonadas con métodos de explotación a cielo abierto presentan gran afectación sobre la geomorfología local, el paisaje y los suelos. Comúnmente se identifican fenómenos erosivos y denudación severa, promovidos por las operaciones de descapote, arranque y beneficio, generando paisajes modificados (IPBES, 2019). El inadecuado manejo de los explosivos para las operaciones de arranque del mineral, la disposición de la roca extraída de las minas sobre los flancos de la montaña y la utilización de los cauces de las quebradas como escombreras generan inestabilidad del terreno, caídas de rocas, cárcavamientos y deslizamientos. Para el caso específico de la minería subterránea, se generan además procesos de subsidencia.

Aunado a estos efectos, el cambio de pendientes producido por la conformación de botaderos, configuración de tajos y construcciones de la infraestructura de soporte a la extracción minera, genera cambios en la escorrentía y el escurrimiento superficial, en donde a mayor pendiente, mayor es la velocidad del flujo, por ende, se traduce en un mayor poder erosivo. Adicionalmente, y teniendo en cuenta que esta topografía modificada en minas abandonadas no es cubierta por vegetación, se originan procesos erosivos en forma de surcos y cárcavas, generando inestabilidad geotécnica de taludes.

Los departamentos Córdoba y Caldas tienen más del 30% de sus municipios impactados por movimientos en masa. Gran parte de los movimientos se han identificado en minas que han sido abandonadas o que se encuentran inactivas (IPBES, 2019a).

### *Alteración a la calidad y disponibilidad de aguas*

Los impactos más representativos de la minería abandonada sobre la calidad del recurso hídrico se relacionan con la contaminación química, el aumento de sedimentos, la disminución de caudales y la alteración de su curso (López *et al.*, 2017).

La transformación de las fuentes de agua en una mina abandonada, ya sea a cielo abierto, subterránea o aluvial puede darse por dos vías. La primera, hace referencia a cuando los estériles o relaves (residuos generados por la mina) expuestos a la lluvia y a otras condiciones climáticas pueden contaminar el agua y generar drenajes ácidos de mina a perpetuidad (IPBES, 2019a), los cuales se deben a la oxidación de minerales sulfúricos en presencia de agua y oxígeno (Chaparro & Oblasser, 2008), y en algunos casos como en los procesos del oro termina contaminada con mercurio y/o cianuro (UNODC, 2016). Estos drenajes generan un impacto negativo sobre la salud humana, sobre las plantas y los animales debido a la perturbación severa en sus procesos bioquímicos. Este problema se agrava por la presencia de minas abandonadas cerca de otras minas en explotación, ya que el agua (drenajes) de las primeras pueden recorrer fácilmente las áreas de operación de las minas activas entrando en contacto con minerales extraídos y luego desembocar en cursos de aguas limpios (Contraloría General de la República, 2017).

La segunda vía de contaminación es la alteración de los sedimentos en suspensión en cuerpos hídricos, muy común en la minería de aluvión y a cielo abierto. Los sedimentos son partículas finas que se mantienen en suspensión por los remolinos de la corriente, los cuales cuando se incrementan considerablemente reducen la penetración de la radiación fotosintéticamente disponible y colmatan la columna de agua (Davies *et al.*, 1992). A este problema se le suma que en algunos casos los sedimentos van acompañados de metales pesados como el mercurio, el aluminio o el zinc que se bioacumulan en la cadena trófica (IPBES, 2019b).

En el caso de las extracciones de oro de aluvión, se puede presentar modificación de las secciones hidráulicas de los cauces por el dragado de los lechos y de las márgenes, el uso de retroexcavadoras y el uso de monitores que lavan las márgenes de los cauces, alterando la dinámica natural del cauce y generando aguas abajo erosión lateral y de fondo, lo que puede favorecer inundaciones o la pérdida de navegabilidad de los ríos (IPBES, 2019a).

En los departamentos de Chocó, Antioquia, Bolívar, Nariño, Cauca, Caldas y Tolima, es donde particularmente se evidencia la existencia de esta problemática que afecta el acceso al recurso por parte de las comunidades, dada la existencia de extracciones de oro aluvial y de filón, en su gran mayoría ilícita (Castellanos et al., 2017).

Las aguas subterráneas también pueden verse afectadas por las minas abandonadas, especialmente las de tipo subterráneo y a cielo abierto que tienen influencia debajo del nivel freático. De igual manera, la infiltración de aguas residuales por materiales depositados (drenajes) representa una fuente común de contaminación de las aguas subterráneas (Chaparro & Oblasser, 2008)

Adicionalmente, el régimen hidrológico e hidrogeológico local puede verse afectado debido a las mayores interacciones del agua superficial y subterránea por subsidencia, desviaciones de cauces superficiales, cambio en las vías preferenciales de flujo del agua subterránea por las actividades mineras como socavones y piques, así como por la subsidencia y ruptura de estratos impermeables (Chaparro & Oblasser, 2008).

#### *Alteración de la calidad del aire*

Uno de los problemas asociados a las minas a cielo abierto en estado de abandono es el arrastre de material particulado por la acción del viento en caso de mantener zonas sin revegetalizar, relaves y botadero de desmontes sin cubierta y en general áreas descubiertas, que podría contaminar el suelo y afectar a personas y animales por inhalación, ingestión o contacto dérmico. La extensión del transporte del material particulado depende de las características de las condiciones climáticas, del material particulado y del terreno (Chaparro & Oblasser, 2008).

#### *Alteración de la calidad del suelo*

Por su parte, los suelos pueden sufrir impacto por contaminación, erosión y degradación, sobre todo en minas a cielo abierto y aluviales. La contaminación tiene su origen en el arrastre de material contaminado por la acción del viento y por la inadecuada disposición de residuos y químicos en las extracciones mineras. La erosión y degradación de los suelos se debe a la exposición de materiales removidos y procesados, la destrucción de la capa vegetal protectora existente y a la disposición de residuos mineros en la superficie (Chaparro & Oblasser, 2008). De

igual manera, la contaminación del suelo en minas subterráneas y a cielo abierto, puede deberse a la generación de drenaje ácido de mina.

Los suelos con minería aurífera son aquellos que de manera particular pueden presentar contaminación por mercurio en las áreas de montajes de las minas y en los sedimentos del lecho de quebradas, cuando durante el proceso de beneficio del oro se haya hecho uso de esta sustancia.

Los sitios abandonados por minería permanecen como focos de contaminación provocando la disminución de la capacidad de los suelos y generando problemas de salud a poblaciones de las áreas directamente impactadas.

#### *Afectación en la biodiversidad y ecosistemas*

En una actividad minera de cualquier tipo, la remoción de los suelos, la extracción de las rocas y minerales, la disposición de los residuos, la construcción de las instalaciones mineras y las actividades de beneficio del mineral pueden provocar un fuerte impacto en los ecosistemas y la vida terrestre y acuática incluso después del abandono de la mina.

Los impactos directos a la biodiversidad y los ecosistemas por la minería abandonada son la eliminación definitiva de coberturas vegetales, las cuales representan un hábitat de especies de mamíferos, aves, anfibios y reptiles que dependen de las plantas para su subsistencia. De igual manera, la pérdida de suelo en áreas mineras a cielo abierto, subterráneas o de aluvión genera procesos de erosión que reducen la productividad, estabilidad ambiental en especial la vegetal e impactan la regulación hídrica tanto en ecosistemas como a nivel de las unidades geográficas de cuencas (IPBES, 2019b).

Los ecosistemas acuáticos pueden sufrir impactos por el ingreso de sedimentos y contaminantes químicos a los cauces y cuerpos acuáticos, por la modificación temporal o permanente del balance de agua y de la hidrología local. Las consecuencias de tales impactos pueden llegar a una degradación o pérdida de los ecosistemas, flora y fauna acuática (López *et al.*, 2017).

#### *Afectación en la salud humana*

Por su parte, los impactos en la salud humana están directamente relacionados con los riesgos de contaminación y de seguridad que se generan a partir de las minas abandonadas. Los

riesgos por contaminación se deben a la presencia de sustancias tóxicas en el agua superficial, agua subterránea, suelo y aire. La contaminación en los diferentes medios se materializa en la salud humana porque se altera un bien necesario para su supervivencia, como el consumo o el contacto dérmico con agua contaminada para consumo, riego o fines recreativos, la respiración e inhalación de aire con polvo contaminado, el contacto dérmico con suelos y el ingreso de los contaminantes a la cadena alimenticia (Arango, 2012).

De igual manera, los riesgos por seguridad pueden afectar la integridad de las personas que se encuentran cerca de las minas abandonadas debido a la inestabilidad física de los taludes de tajos abiertos, desmontes, tanques y acopios, por el inadecuado cierre de socavones abiertos y posibles subsidencias.

#### *Afectación socio económica y cultural*

Estas afectaciones pueden manifestarse en las comunidades del área de influencia de las minas abandonadas, principalmente por la alteración de los modos de vida, la alteración al acceso a los recursos naturales necesarios para el sustento de las comunidades, los cambios de uso del suelo donde han quedado abandonadas estas actividades y que a su vez incide en las alteraciones de las actividades económicas y productivas de la zona, desplazamiento de familias y/o comunidades, y posibles cambios en las tradiciones y costumbres (IPBES, 2019a).

### **3.3 Marco legal**

La regulación normativa de Colombia no es específica y particular sobre las áreas mineras en estado de abandono - AMEA, sino corresponde a principios generales de protección y conservación de recursos naturales y salud pública. A continuación, se mencionan las más representativas entorno al sector ambiental, minero y de gestión del riesgo:

- La Constitución Política de Colombia de 1991, en su artículo 79 señala que todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano y el Estado tiene el deber de proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines, a su vez, el artículo 80 expresa que el Estado deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados.

Siguiendo la línea de las consideraciones constitucionales, es preciso referir los artículos 82 y 95 de la Constitución, en los cuales se establece que es deber del Estado velar por la protección de la integridad del espacio público y por su destinación al uso común, el cual prevalece sobre el interés particular y, además son deberes de la persona y del ciudadano proteger los recursos culturales y naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano.

- El Decreto 2811 de 1974 (Código de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente) tiene como objetivo buscar el mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales renovables, y prevenir y controlar los efectos nocivos en el ambiente para defender la salud y el bienestar de todos los habitantes del territorio nacional.
- La Ley 99 de 1993 por la cual se creó el Ministerio del Medio Ambiente, se reordenó el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables y se organizó el Sistema Nacional Ambiental, SINA, establece en su artículo 1 los principios generales ambientales bajo los cuales deberá regirse la política ambiental colombiana, los cuales están relacionados con la protección del ambiente, el desarrollo sostenible, la salud pública, la prevención de desastres, entre otros.
- Ley 685 de 2001 (Código de Minas), tiene entre otros, como objetivo fomentar la exploración técnica y la explotación de los recursos mineros de la propiedad estatal y privada y garantizar que el aprovechamiento de dichos recursos mineros se realice dentro de un concepto integral de desarrollo sostenible.
- Ley 1333 de 2009 establece el procedimiento para sancionar las acciones que atentan contra el medio ambiente, los recursos naturales o la salud humana, dando como fundamento uno de los más grandes logros en materia de protección ambiental en Colombia.
- El Decreto 1076 del 2015, en su Libro 2, Parte 2, Título 2, Capítulo 3 sobre licencias ambientales, establece las actividades que requieren de obtención de este instrumento, dentro de las cuales se encuentra la explotación de minerales, el procedimiento y obligaciones por parte de las autoridades ambientales y de los beneficiarios de la licencia para promover la protección del medio ambiente y la responsabilidad ambiental.

- La Ley 1523 de 2012 adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, responsabilidades y coordinación de los actores involucrados, instrumentos de planificación y mecanismos de financiación para la gestión del riesgo de desastres.

### **3.4 Antecedentes**

Tal como se menciona en el apartado 1.1 Planteamiento del problema, actualmente no existe un inventario oficial de AMEA en el país por parte de ninguna institución; sin embargo, en los últimos años se han realizado algunos diagnósticos por parte de la academia, entidades públicas y empresas privadas en algunos departamentos de Colombia, que permiten tener una aproximación en el número de AMEA (1056) (Tabla 1) que requieren de gestión por parte de las autoridades ambientales y mineras.

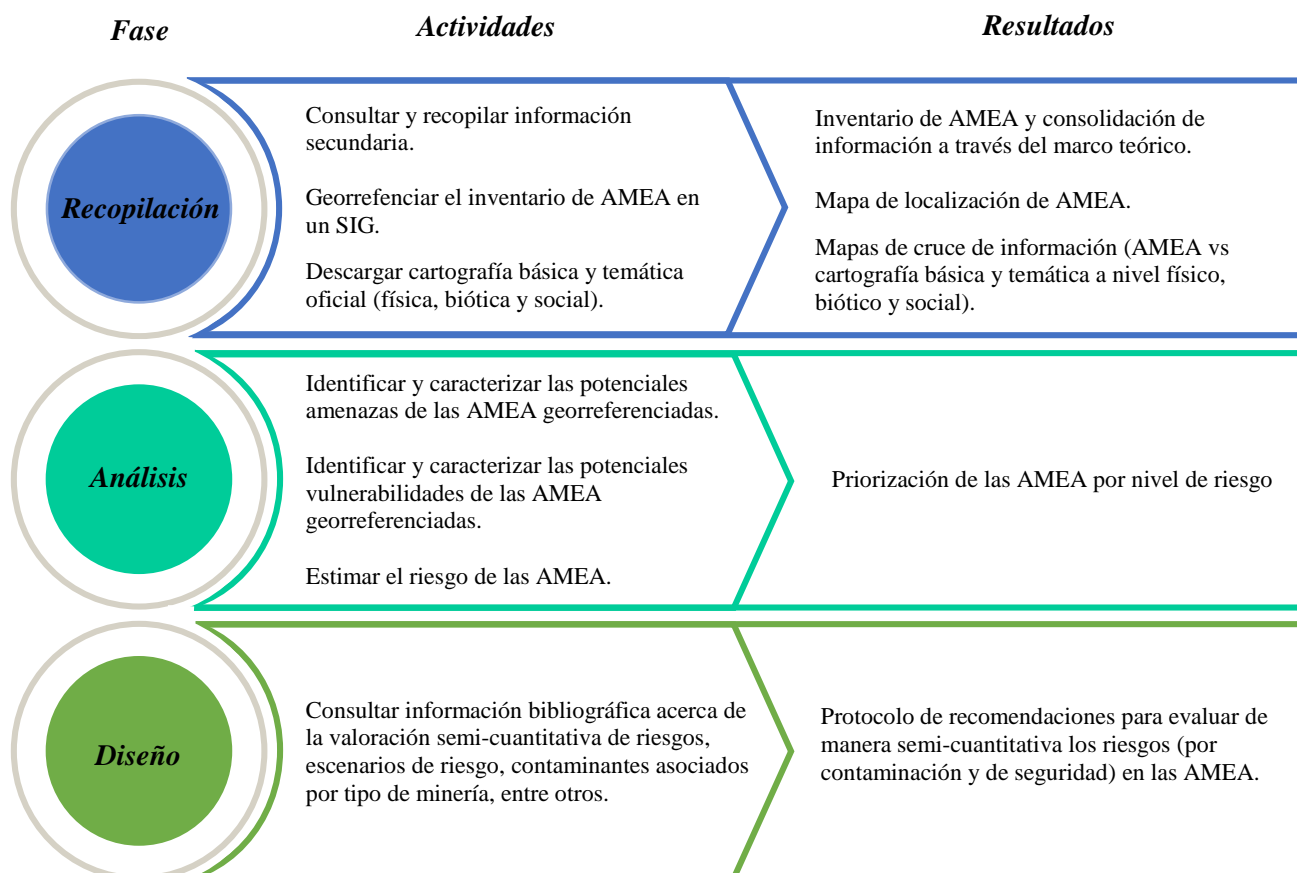
Por otra parte, de acuerdo con Cabrera y Ordoñez (2019), existen algunos instrumentos técnicos diseñados en los últimos años por el sector minero relacionados con el análisis de riesgos en AMEA, específicamente por parte del Ministerio de Minas y Energía – Minminas con apoyo de la Universidad Industrial de Santander – UIS, los cuales se presentan a continuación:

- Metodología de caracterización de intervención, evaluación y selección de alternativas de intervención en AMEA, según criterios técnicos mineros, jurídicos, ambientales y socioeconómicos (2014).
- Guía metodológica para el desarrollo de mapas de amenaza, vulnerabilidad y priorización en el análisis de riesgo AMEA (2016).
- Metodología para el análisis de amenaza por inundación y movimientos en masa en las AMEA (2016).
- Metodología para el análisis de vulnerabilidad ambiental, física y social en las AMEA (2016).

Sin embargo, en la búsqueda de la información en las páginas oficiales de Minminas y la UIS y en la web, no se encontró dicha información para consulta y soporte de la presente investigación.

## 4. METODOLOGÍA

La presente investigación, se realizó bajo un enfoque cualitativo descriptivo que se llevó a cabo en tres fases, las cuales se describen a continuación y se resumen en la Figura 1.



**Figura 1.** Diagrama de flujo de la metodología para el desarrollo de la investigación.

**Fuente:** Autora, 2021.

### 4.1 Fase de recopilación

#### *Recopilación de información secundaria*

En esta fase se recopiló la información secundaria que sirvió de fundamentación y desarrollo para la presente investigación; dicha información estuvo relacionada con el levantamiento del inventario de AMEA en el país, la actividad minera en Colombia, la gestión ambiental minera y de riesgos, los principales impactos o afectaciones ambientales y sociales de las AMEA, el contexto legal de la actividad y los antecedentes relacionados con la gestión

realizada sobre las AMEA en el país. Para el levantamiento del inventario de AMEA se consultaron diferentes fuentes oficiales (academia, empresas privadas y entidades públicas) y se solicitó la información a través de Derechos de Petición al Ministerio de Minas y Energía – Minminas, a la Unidad de Planeación Minero Energética – UPME y al Departamento Nacional de Planeación - DNP; sin embargo, para estas solicitudes no se obtuvo una respuesta favorable. Para la demás información, se consultaron artículos científicos, publicaciones de investigación, publicaciones de reportes de entidades del Gobierno, normativa vigente, así como guías sobre evaluación de riesgos de países como Chile y Perú.

La información secundaria recopilada, fue analizada con el propósito de caracterizar las potenciales amenazas y vulnerabilidades de las AMEA inventariadas, y proponer recomendaciones para evaluar de manera semi-cuantitativa los riesgos en las AMEA que a futuro identifiquen y consoliden en un único inventario oficial y de manera conjunta la autoridad minera y ambiental, para lo cual se llevaron a cabo las siguientes actividades:

### ***Georreferenciación de AMEA***

Aunque previamente a través de la recopilación de información secundaria, se estableció un inventario de 1056 AMEA, solo 578 de ellas contaban con georreferenciación. En ese sentido, se procedió a georreferenciar las 578 AMEA en un Sistema de Información Geográfica (ArcGIS) por departamento, municipio, método de extracción y tipo de mineral. Las fuentes oficiales consultadas y de las que se obtuvo la georreferenciación de AMEA fueron: Universidad Industrial de Santander – UIS y la empresa INNOVA S.A.S, quienes a su vez desarrollaron el levantamiento de la información a partir de contratos suscritos con el Ministerio de Minas y Energía y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, respectivamente. De igual manera, se realizó la identificación de algunas de ellas asociadas a materiales de construcción (canteras) y extracción aluvial de oro a través de Google Earth, partiendo de la identificación satelital de parches (fenómeno de fragmentación de hábitats) (CGR, et al, 2018) en Antioquia (Río Nechí) y Cundinamarca. Posterior a su identificación, fueron exportadas a ArcGIS para su respectiva consolidación en el inventario de AMEA georreferenciadas.

**Descarga de cartografía básica y temática**

Posteriormente, se realizó la descarga de la cartografía básica y temática a nivel físico, biótico y social a escala 1:100.000 (Tabla 2) para cruzar con las AMEA georreferenciadas, y de esta manera caracterizar las potenciales vulnerabilidades ambientales y sociales de los elementos expuestos a las amenazas generadas por las AMEA. A partir de esta información se generaron los respectivos mapas de localización de AMEA y de la superposición con información de las temáticas a nivel físico, abiótico y social, los cuales se encuentran en el Anexo 1.

**Tabla 2.** Cartografía básica y temática consultada en fuentes oficiales.

<b>Tipo</b>	<b>Componente</b>	<b>Fuente</b>	<b>Observaciones</b>
Cartografía básica	Político administrativo	IGAC	Comprende: - Departamentos - Municipios
	Hidrológico	IGAC	Comprende: - Drenajes dobles - Lagunas - Ciénagas
	Cabeceras y centros poblados	DANE	Obtenido del Marco Geoestadístico Nacional, 2018.
Cartografía temática	Sistema Nacional de Áreas Protegidas - SINAP	SIAC / SPNN	Comprende: - Parques Nacionales Naturales - Parques Naturales Regionales - Reservas forestales protectoras nacionales y regionales - Distrito nacional y regional de manejo integrado - Distrito de conservación de suelos - Áreas de recreación - Reservas naturales de la sociedad civil
	Registro Único de Ecosistemas y Áreas Ambientales - REAA	SIAC / MADS	Este REAA no incluye las áreas del SINAP.
	Reservas forestales Ley 2da	SIAC / MADS	
	Resguardos indígenas	SIGOT / IGAC	
	Zonas de reserva campesina	SIGOT / IGAC	

**Fuente:** Autora, 2021.

## 4.2 Fase de análisis

### *Identificación y caracterización de amenazas en AMEA*

Se realizó la identificación y caracterización de las potenciales amenazas de tipo tecnológico del inventario de las AMEA georreferenciadas de manera cualitativa, a partir de consulta de estudios sobre el levantamiento de información asociada a estas AMEA, de los cuales se extrajeron los principales hallazgos identificados asociados con infraestructura presente en el sitio, su estado, los residuos presentes y condiciones de los frentes de explotación.

Por otro lado, las amenazas de tipo natural asociadas a eventos naturales como sismos, movimientos en masa e inundaciones, se identificaron y caracterizaron a partir de la información obtenida del Servicio Geológico Colombiano – SGC y del Sistema de Información Ambiental de Colombia – SIAC, los cuales proveen información sobre referencias históricas en el país y sobre la probabilidad o potencial de generar dichos fenómenos de acuerdo con las características de cada área en rangos altos, medios y bajos. Estos eventos naturales pueden inducir o potenciar el desencadenamiento de algunas condiciones de amenaza en las que permanecen las áreas mineras posterior a su abandono.

Teniendo en cuenta lo anterior, en la Tabla 3 se relacionan los valores de probabilidad de ocurrencia con los que se estimó el nivel de las amenazas tecnológicas y naturales a las cuales se encuentra expuesta cada AMEA. Estas categorías fueron propuestas de acuerdo con el alcance de la investigación y la información secundaria disponible, y la probabilidad de cada una de las amenazas identificadas se estimó teniendo en cuenta las condiciones de los frentes de obra y su entorno.

**Tabla 3.** Valores para estimación de la amenaza.

Valor	Probabilidad de ocurrencia	
1	Baja	Improbable.
2	Media	Poco probable.
3	Alta	Probable.

**Fuente:** Autora, 2021.

Por otro lado, y teniendo en cuenta la información sobre los principales hallazgos en cada AMEA, se identificaron las amenazas por tipo tecnológico y natural, la fuente, el evento que podría desencadenar y el tipo de riesgo que representan, considerando que las AMEA pueden generar

riesgo para la salud humana y ecosistemas, de *seguridad* debido a la estabilidad física de las áreas donde ha sido desarrollada la actividad (infraestructura y frentes de explotación), o de *contaminación* debido a la presencia de sustancias nocivas en el ambiente.

Basados en la identificación de las amenazas, se procedió a hacer la sumatoria de los valores para la estimación de las amenazas identificadas en cada AMEA, con el fin de determinar finalmente el grado de amenaza por cada una de ellas, empleado los siguientes rangos de valoración (Tabla 4):

**Tabla 4.** Rangos para estimación de la amenaza por AMEA.

Rango	Amenaza por AMEA
1 - 7	Baja
8 - 14	Media
15 - 21	Alta

**Fuente:** Autora, 2021.

Los principales resultados de la categoría de mayor nivel de amenaza fueron tabulados para presentar a través de gráficos de barras y tablas, la información y facilitar su interpretación.

### ***Identificación y caracterización de vulnerabilidades en AMEA***

Por su parte, la vulnerabilidad ambiental y social se determinó haciendo uso de cartografía referente a mapas de cuerpos de agua superficial, áreas protegidas, ecosistemas y áreas ambientales y reservas forestales de Ley 2da de 1959 para la vulnerabilidad ambiental, y cabeceras y centros poblados, resguardos indígenas y zonas de reserva campesina para la vulnerabilidad social, y definiendo categorías de proximidad de las AMEA con respecto a los elementos ambientales y sociales expuestos (Tabla 5), con el fin de emplearlas para la clasificación de los niveles de vulnerabilidad (alta, media y baja).

**Tabla 5.** Categorías de proximidad.

ID	Categoría de proximidad
1	0 - 100 m* ; Dentro
2	100 – 500 m* ; 0 - 500 m
3	> 500 m

\* Categoría de proximidad específica para los cuerpos de agua.

**Fuente:** Autora, 2021.

Para las categorías de proximidad asociadas a cuerpos de agua, se seleccionaron distancias de 0 a 100 m, de 0 a 500 m y >500 m de acuerdo con lo sugerido en el documento *Criterios a tener*

en cuenta en la priorización de los pasivos ambientales a ser intervenidos en todo el territorio nacional del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018). Para los demás elementos definidos como áreas (SINAP, ecosistemas y áreas protegidas, reservas forestales, cabeceras y centros poblados, resguardos indígenas y zonas de reserva campesina), se estableció como categoría de proximidad más crítica que las AMEA se encuentren dentro de cualquiera de estos elementos, así como distancias de 0 a 500 m y >500 m, guardando relación con la segunda y tercera categoría de cuerpos de agua y la manifestación de los efectos a dichas distancias.

En la siguiente tabla, se presentan los criterios de calificación empleados para clasificar la vulnerabilidad ambiental y social haciendo uso de las categorías de proximidad.

**Tabla 6.** Criterios de calificación de vulnerabilidad ambiental y social.

Valor	Vulnerabilidad	
1	Baja	Las restantes AMEA que se encuentran en la tercera categoría de proximidad.
2	Media	Con por lo menos un elemento dentro de la segunda categoría de proximidad
3	Alta	Con por lo menos un elemento dentro de la primera categoría de proximidad

**Fuente:** Autora, 2021.

Las distancias de proximidad de acuerdo con los rangos establecidos se midieron a través de la herramienta ArcGIS una vez se incorporó la información de la georreferenciación de las AMEA y la cartografía de los elementos ambientales y sociales.

Los principales resultados de las categorías de mayor nivel de vulnerabilidad fueron tabulados para presentar a través de gráficos de barras y tablas la información y facilitar su interpretación.

### ***Estimación del riesgo***

A partir de la anterior información, se estimó el nivel de riesgo como producto de la amenaza por la vulnerabilidad de las AMEA. En la tabla 7 se muestran los rangos utilizados para la estimación.

**Tabla 7.** Rangos para estimación del nivel de riesgo por AMEA.

Rango	Riesgo por AMEA
1 – 21	Baja
22 – 42	Media
43 - 63	Alta

**Fuente:** Autor, 2021

Los principales resultados de las categorías de mayor nivel de riesgo fueron tabulados para presentar a través de gráficos de barras y tablas la información y facilitar su interpretación.

### **4.3 Fase de diseño**

#### ***Consulta de información bibliográfica***

Por último, y con base en la revisión de información secundaria acerca de la valoración semi-cuantitativa de riesgos, escenarios de riesgo, principales efectos ambientales y sociales asociados a la minería abandonada, principales contaminantes asociados por tipo de minería, así como de la identificación de las potenciales amenazas y vulnerabilidades del inventario de las AMEA georreferenciadas, se propuso el protocolo de recomendaciones para para evaluar de manera semi-cuantitativa los riesgos (por contaminación y de seguridad) asociados a estas áreas.

## 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los numerales 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4 del presente apartado dan cumplimiento al primer objetivo específico de esta investigación, relacionado con la identificación de las amenazas y vulnerabilidades asociadas a las áreas mineras en estado de abandono – AMEA y su priorización por nivel de riesgo; mientras que el numeral 5.5 da cumplimiento al segundo objetivo específico relacionado con la formulación del protocolo de recomendaciones para evaluar de manera semi-cuantitativa los riesgos asociados a las potenciales amenazas y vulnerabilidades generadas por efecto de las áreas mineras en estado de abandono – AMEA.

### 5.1 Inventario y localización de AMEA

A partir de la información secundaria consultada de las entidades e instituciones que han realizado levantamientos de AMEA en diferentes regiones del país (UIS y Minminas (2014) e INNOVA S.A.S y Minambiente (2015)) y con la identificación de algunas de ellas asociadas a materiales de construcción (canteras) y extracción aluvial de oro a través de Google Earth, se georreferenciaron un total de 578 AMEA, de las cuales el 36,2% corresponden a minería de oro, 10,6% a materiales de construcción, 3,6% a carbón, 1,7% a arcilla, 0,3% a caliza, 0,3% a recebo y el restante 47,2% no reporta el tipo de material extraído. La información del inventario y localización de las AMEA por departamento, municipio, mineral y método de extracción, es presentada en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Inventario de AMEA georreferenciadas.

Departamento	Municipio	Mineral	Método de extracción	No. AMEA	Total AMEA
Antioquia	Nechí	Oro	Aluvial	16	77
	El Bagre	Oro	Aluvial	51	
	Caucasia	Oro	Aluvial	2	
	Zaragoza	Oro	Aluvial	8	
Bogotá	Bogotá	Materiales de construcción	Superficial	25	25
Cauca	Buenos Aires	No reporta	No reporta	9	52
	Puerto Tejada	No reporta	No reporta	6	
	Santander de Quilichao	No reporta	No reporta	13	
	Suárez	No reporta	No reporta	10	
	Villa Rica	No reporta	No reporta	14	
Cesar	El Paso	Carbón	Superficial	1	7

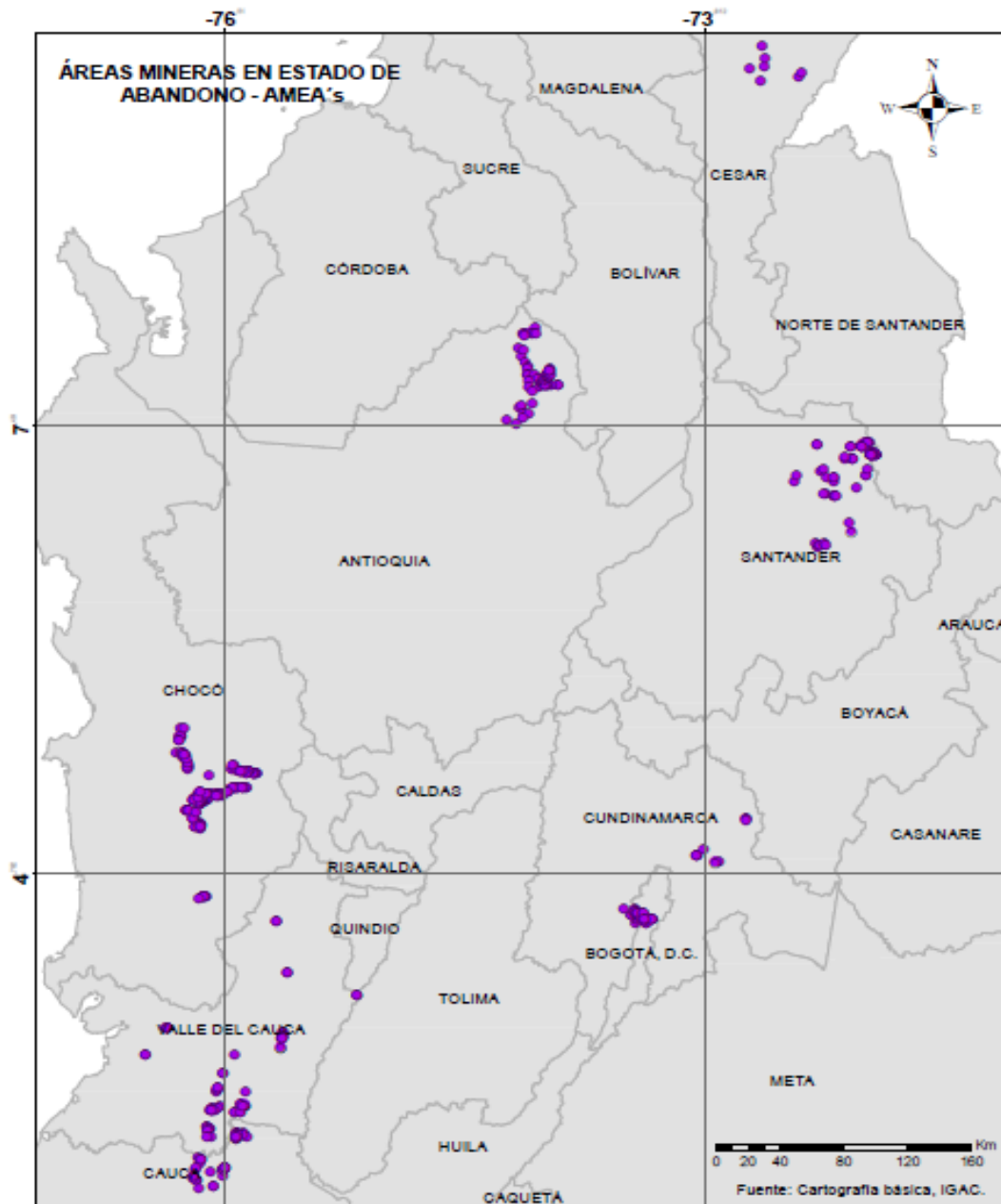
Departamento	Municipio	Mineral	Método de extracción	No. AMEA	Total AMEA
	La Jagua de Ibirico	Carbón	Superficial	3	
	Becerril	Materiales de construcción	Superficial	2	
	Agustín Codazzi	Carbón	Superficial	1	
Chocó	Bagadó	Oro	Aluvial	23	203
		No reporta	No reporta	11	
	Certeguí	No reporta	No reporta	1	
	Condoto	Oro	Aluvial	12	
		No reporta	No reporta	5	
	El Cantón de San Pablo	No reporta	No reporta	1	
	Istmina	Oro	Aluvial	8	
		No reporta	No reporta	6	
	Rio Quito	No reporta	No reporta	28	
	Sipi	No reporta	No reporta	9	
	Tadó	Oro	Aluvial	21	
		No reporta	No reporta	19	
	Unión Panamericana	Oro	Aluvial	36	
		No reporta	No reporta	23	
Cundinamarca	Guatavita	No reporta	No reporta	8	38
	Macheta	No reporta	No reporta	3	
	Soacha	Materiales de construcción	Superficial	27	
Santander	Bucaramanga	Arcilla	Superficial	1	109
		Arena	Superficial	1	
		Arena	Aluvial	1	
		Caliza	Superficial	1	
		No reporta	No reporta	1	
	California	Oro	Subterránea	7	
		Carbón	Subterránea	2	
		No reporta	No reporta	30	
	Charta	Caliza	Superficial	1	
		No reporta	No reporta	2	
	Floridablanca	Arena	Aluvial	2	
		No reporta	No reporta	1	
	Girón	Arena	Aluvial	1	
		No reporta	No reporta	1	
	Lebrija	No reporta	No reporta	2	
	Los Santos	No reporta	No reporta	6	
	Matanza	No reporta	No reporta	2	
Páramo de Santurbán	No reporta	No reporta	7		
Piedecuesta	No reporta	No reporta	2		

Departamento	Municipio	Mineral	Método de extracción	No. AMEA	Total AMEA
	Rionegro	Arena	Aluvial	2	
		No reporta	No reporta	2	
	Surata	No reporta	No reporta	2	
	Tona	Recebo	Superficial	1	
		No reporta	No reporta	3	
	Vetas	Oro	Superficial	15	
No reporta		No reporta	13		
Valle del Cauca	Buenaventura	Oro	Aluvial	3	67
		Oro	Subterránea	1	
		No reporta	No reporta	4	
	Buga	Oro	Aluvial	2	
		No reporta	No reporta	2	
	Bugalagrande	Arcilla	Superficial	1	
		No reporta	No reporta	1	
	Cali	Carbón	Subterránea	10	
		No reporta	No reporta	8	
	Candelaria	Arcilla	Aluvial	2	
		Arcilla	Superficial	5	
		No reporta	No reporta	5	
	El Dovio	Arcilla	Superficial	1	
		No reporta	No reporta	1	
	Ginebra	Oro	Subterránea	1	
		No reporta	No reporta	1	
	Guacarí	Oro	Superficial	1	
		Oro	Subterránea	1	
		No reporta	No reporta	2	
	Jamundi	Carbón	Subterránea	4	
		No reporta	No reporta	6	
	Sevilla	Oro	Aluvial	1	
		No reporta	No reporta	1	
	Vijes	No reporta	No reporta	1	
Yumbo	Recebo	Superficial	1		
	No reporta	No reporta	1		
<b>Total AMEA</b>					578

**Fuente:** Adaptado de UIS y Minminas (2014), INNOVA S.A.S. y Minambiente (2015) y Google Earth (2020).

En la Figura 2, se muestra la localización georreferenciada de estas áreas, las cuales se encuentran distribuidas en los departamentos de Chocó (35,1%), Santander (18,9%), Antioquia

(13,3%), Valle del Cauca (11,6%), Cauca (9,0%), Cundinamarca (6,6%), Bogotá (4,3%) y Cesar (1,2%).



**Figura 2.** Distribución de las áreas mineras en estado de abandono – AMEA en Colombia.

**Fuente:** Autora, 2021.

De los demás estudios realizados por otras instituciones, como la UPME (2017) y la UNAL de Medellín, Minminas, DNP y USAID (2018), aunque se obtuvieron inventarios, no se consiguió la localización exacta de las AMEA inventariadas, por tanto, no fueron tenidas en cuenta la presente investigación.

## 5.2 Identificación y caracterización de potenciales amenazas

La identificación de las amenazas se presenta como el paso más importante que permite realizar un diagnóstico claro de las situaciones que están presentes en la AMEA, es por esto que, a continuación, se presentan las potenciales amenazas tecnológicas y naturales que se identificaron y evidenciaron con base en la revisión de información secundaria proveniente del *Estudio diagnóstico de las áreas afectadas por actividades mineras en estado de abandono de algunos de los municipios de los departamentos de Chocó, Santander y Valle del Cauca* de la UIS y Minminas (2014), las cuales pueden estar en función de los frentes de explotación, así como de las diferentes instalaciones y/o procesos que posiblemente desarrolló cada una de estas áreas.

Es importante resaltar que para 409 de las 578 AMEA georreferenciadas, no fue posible determinar las potenciales amenazas tecnológicas y naturales, dado que no se contó con la información asociada a la infraestructura presente en el sitio, su estado, los residuos presentes, condiciones de los frentes de explotación, entre otras condiciones necesarias para determinar las amenazas que puedan causar daño a los elementos expuestos.

En ese sentido, la identificación de las amenazas de tipo tecnológico de las 169 AMEA de las que si se obtuvo la información, se soporta con base en los principales hallazgos recopilados en las diferentes áreas (Tabla 9), dado que estos comúnmente permanecen luego de finalizada la actividad minera, más aún cuando no se realizó un adecuado cierre de mina o planta. Y su estimación, se determinó con base en la probabilidad de que se desencadene cada una de las amenazas identificadas, teniendo en cuenta las condiciones de los frentes de obra y su entorno.

**Tabla 9.** Principales hallazgos empleados para la identificación y estimación de las amenazas.

Principales hallazgos	
1	Residuos de cianuro, mercurio, ACPM, aceites, solventes y/u otras sustancias peligrosas.
2	Efluentes líquidos (drenajes).
3	Depósito de colas, relaves y/o material estéril.
4	Otros residuos (escombros, material de descapote, chatarra, basura, equipos, maquinaria, etc.)
5	Inestabilidad de tajos o socavones.
6	Mal estado de la infraestructura asociada (plantas, bodegas, etc.)

**Fuente:** Adaptado de UIS y Minminas, 2014.

Por otro lado, las amenazas de tipo natural se relacionaron con eventos naturales como sismos, movimientos en masa e inundaciones, los cuales pueden inducir o potenciar el desencadenamiento de algunas condiciones de amenaza en las que permanecen las áreas mineras posterior a su abandono.

Teniendo en cuenta la anterior información, en las Tablas 10, 11 y 12 se relacionan las amenazas tecnológicas y naturales con probabilidad de ocurrencia alta, media y baja que se identificaron para las diferentes AMEA (cielo abierto, subterránea y aluvial), por tipo (tecnológica y natural), fuente que la origina, evento que podría desencadenar y tipo de riesgo que representan, teniendo en cuenta que las AMEA pueden generar riesgo para la salud humana y ecosistemas, de *seguridad* debido a la estabilidad física de las áreas donde ha sido desarrollada la actividad, o de *contaminación* debido a la presencia de sustancias nocivas en el ambiente. El detalle de esta información, se encuentra disponible en el Anexo 2 del presente documento.

**Tabla 10.** Identificación de potenciales amenazas para las AMEA a cielo abierto.

No de AMEA*			Amenaza			Tipo de riesgo
AA	AM	AB	Tipo	Fuente	Evento	
6	0	23	Tecnológica	Presencia de ACPM, aceites, mercurio, cianuro, etc.	Liberación de combustibles y sustancias químicas	Contaminación
6	0	23	Tecnológica	Estériles, relaves o roca excavada expuestos a la lluvia y oxígeno	Generación de drenaje ácido de mina o lixiviación de metales u otros contaminantes	Contaminación
6	0	23	Natural	Sismo Remoción en masa Lluvia intensa	Falla de talud de las pilas de escombros y/o estériles	Seguridad
6	3	20	Natural	Sismo Remoción en masa Lluvia intensa	Falla de talud de los tajos y/o infraestructura asociada	Seguridad

\*Número de AMEA con AA: Amenaza alta; AM: Amenaza media y AB: Amenaza baja.

**Fuente:** Autora, 2021.

**Tabla 11.** Identificación de potenciales amenazas para las AMEA subterráneas.

No de AMEA*			Amenaza			Tipo de riesgo
AA	AM	AB	Tipo	Fuente	Evento	
8	0	18	Tecnológica	Presencia de ACPM, aceites, mercurio, cianuro, etc.	Liberación de combustibles y sustancias químicas	Contaminación
19	0	7	Tecnológica	Estériles, relaves, roca excavada expuestos a la lluvia y oxígeno	Generación de drenaje ácido de mina o lixiviación de metales u otros contaminantes	Contaminación
19	0	7	Tecnológica	Colapso de la infraestructura del socavón	Subsidencia	Seguridad
19	0	7	Natural	Sismo Remoción en masa Lluvia intensa	Subsidencia	Seguridad
17	0	9	Natural	Sismo Remoción en masa Lluvia intensa	Falla de talud de las pilas de escombros y/o estériles	Seguridad
10	6	10	Natural	Sismo Remoción en masa Lluvia intensa	Falla de talud de infraestructura asociada	Seguridad

\*Número de AMEA con AA: Amenaza alta; AM: Amenaza media y AB: Amenaza baja.

**Fuente:** Autora, 2021.

**Tabla 12.** Identificación de potenciales amenazas para las AMEA aluviales.

No de AMEA*			Amenaza			Tipo de riesgo
AA	AM	AB	Tipo	Fuente	Evento	
8	21	85	Tecnológica	Presencia de ACPM, aceites, mercurio, cianuro, etc.	Liberación de combustibles y sustancias químicas	Contaminación
53	0	61	Tecnológica	Estériles, relaves o roca excavada expuestos a la lluvia y oxígeno	Generación de drenaje ácido de mina o lixiviación de metales u otros contaminantes	Contaminación
84	12	18	Natural	Lluvia intensa Inundaciones	Desprendimiento de montículos y/o excavaciones en las terrazas aluviales, riberas y/o lechos de los ríos	Contaminación

No de AMEA*			Amenaza			Tipo de riesgo
AA	AM	AB	Tipo	Fuente	Evento	
49	2	63	Natural	Sismo Remoción en masa Lluvia intensa	Falla de talud de las pilas de escombros y/o estériles	Seguridad
61	16	37	Natural	Sismo Remoción en masa Lluvia intensa	Falla de talud de los tajos y/o infraestructura asociada	Seguridad

\*Número de AMEA con AA: Amenaza alta; AM: Amenaza media y AB: Amenaza baja.

**Fuente:** Autora, 2021.

En cuanto a las amenazas de tipo tecnológico, se identificaron las siguientes de acuerdo con la información disponible, las cuales están relacionadas con:

i) Presencia de sustancias como ACPM, aceites, mercurio y cianuro, así como de equipos y maquinaria asociados a la actividad expuestos al aire libre, los cuales podrían estar generando fugas de aceites y combustible en el medio, tanto en minas a cielo abierto, como subterráneas y aluviales. De igual manera, es algunas de las AMEA de oro y carbón a las cuales se les identificaron estas condiciones, también se les evidenció generación de drenaje con valores de pH que oscilaron entre 5,5 y 7 (UIS y Minminas, 2014) que, aunque neutro, pueden contener sólidos suspendidos, sólidos disueltos y otros contaminantes tóxicos que requerirán ser monitoreados en un análisis más detallado. Todas estas sustancias pueden generar problemas de salud a la población y daños irreparables a los ecosistemas por su liberación sin control, dadas las condiciones de precariedad de los contenedores e instalaciones en los cuales se almacenan.

ii) Presencia de estériles, relaves o roca excavada expuesta a la lluvia y oxígeno, que puede llevar a la generación de drenaje ácido de mina (DAM) o lixiviación de metales u otros contaminantes en minas a cielo abierto, subterráneas y aluviales. En las AMEA identificadas con este tipo de amenaza se registraron graves problemas de lixiviación de contaminantes provenientes de relaves, arenas cianuradas, pilas de lixiviación, escombros y desechos de roca. Para algunos casos de minas de oro y carbón, se registraron DAM con valores de pH que variaron entre 2 y 4,5 (UIS y Minminas, 2014). Debido a las inadecuadas condiciones bajo las cuales se almacenan estos desechos mineros, los cuales se encuentran dispuestos directamente en el suelo, o en tanques expuestos directamente en este, la probabilidad de que se infiltren a través de este recurso y contaminen las aguas subterráneas y superficiales próximas a estas AMEA, es elevada.

En este punto, es importante mencionar que los relaves son uno de los desechos que se producen en el proceso de beneficio de minerales (como oro y plata) en mayor cantidad y pueden contener sustancias tóxicas en niveles peligrosos de arsénico, plomo, cadmio, níquel y cianuro (SERNAGEOMIN, 2021), es por ello que su disposición inadecuada se considera una amenaza para la salud de las personas y ecosistemas.

En cuanto al DAM, es uno de los mayores problemas asociados a la actividad de minas metálicas, carbón y pitita, y ocurre cuando el material se excava y se expone al oxígeno y el agua, en el caso de las minas subterráneas, relaves, escombros o desechos de roca, donde son formadas aguas ácidas, ricas en sulfatos, hierro y metales pesados (Aduvire, 2006). En otros casos, la lixiviación de metales pesados se presenta cuando algunos metales como el arsénico, cobalto, cobre, cadmio, plomo, plata y zinc contenidos en las rocas excavadas o expuestos en vetas en una mina subterránea, entran en contacto con el agua (González, et al, 2008).

iii) Colapso de la infraestructura del socavón, que pueden llevar a procesos de subsidencia en minas subterráneas. Algunas de las minas subterráneas identificadas bajo este peligro, presentaron en su diagnóstico fenómenos de subsidencia y procesos erosivos debido a la baja calidad con la que fueron construidas. Las demás, con el paso del tiempo y debido a la exposición de agentes ambientales como fuertes lluvias, podrían colapsar causando un derrumbe en su interior además de hundimientos cercanos al área de afectación a causa de los entibados en mal estado, procesos erosivos, deslizamientos activos, diaclasas y rocas saprolizadas en el área en la cual se ubican (UIS y Minminas, 2014). Algunas de ellas no son fácilmente visibles por procesos de revegetalización, lo cual hace que sean un riesgo latente de accidentes para la comunidad y fauna de la zona.

Por otro lado, y en cuanto a las amenazas de tipo natural, se identificaron las siguientes, las cuales están asociadas a:

i) Sismos, procesos de remoción en masa y lluvia intensa, las cuales pueden generar fenómenos de subsidencia. Al igual que la amenaza de tipo tecnológico asociada al colapso de la infraestructura del socavón por condiciones inadecuadas de construcción e inestabilidad de la misma, esta amenaza también puede potenciarse por algunos procesos naturales presenten en la zona con categoría alta de amenaza, y específicamente para minas subterráneas abandonadas.

ii) Lluvia intensa e inundaciones, las cuales pueden desencadenar desprendimiento de montículos y/o excavaciones en las terrazas aluviales, riberas y/o lechos de los ríos. Los sitios identificados con potencial de generar esta amenaza, corresponden a explotaciones de suelo aluvial en las que se encuentran pilas o depósitos de excavaciones sin condiciones mínimas de estabilidad, los cuales en un ambiente lluvioso y al no poseer parámetros mínimos de resistencia, podrían presentar falla súbita, deslizamientos y flujos de materiales hacia los cuerpos de agua (UIS y Minminas, 2014). De igual manera, se evidencia la formación de surcos y cárcavas, que corroboran el arrastre de sedimentos a los cuerpos de agua, generando afectaciones en la fauna acuática y en la calidad física de la misma que puede ser captada para el consumo humano y actividades agropecuarias.

iii) Sismos, procesos de remoción en masa y lluvia intensa, fenómenos que pueden generar fallas de taludes de las pilas de escombros y/o estériles. Dentro del diagnóstico realizado por la UIS y Minminas (2014), se encontró que existen grandes depósitos de material estéril y escombros completamente inestables con pendientes fuertes, procesos erosivos, formación de cárcavas y fenómenos de remoción en masa en minas abandonadas a cielo abierto, subterráneas y aluviales, que pueden generar afectación/daño a infraestructura, receptores humanos y/o receptores ecológicos que se encuentren próximos a la masa deslizante o sus alrededores.

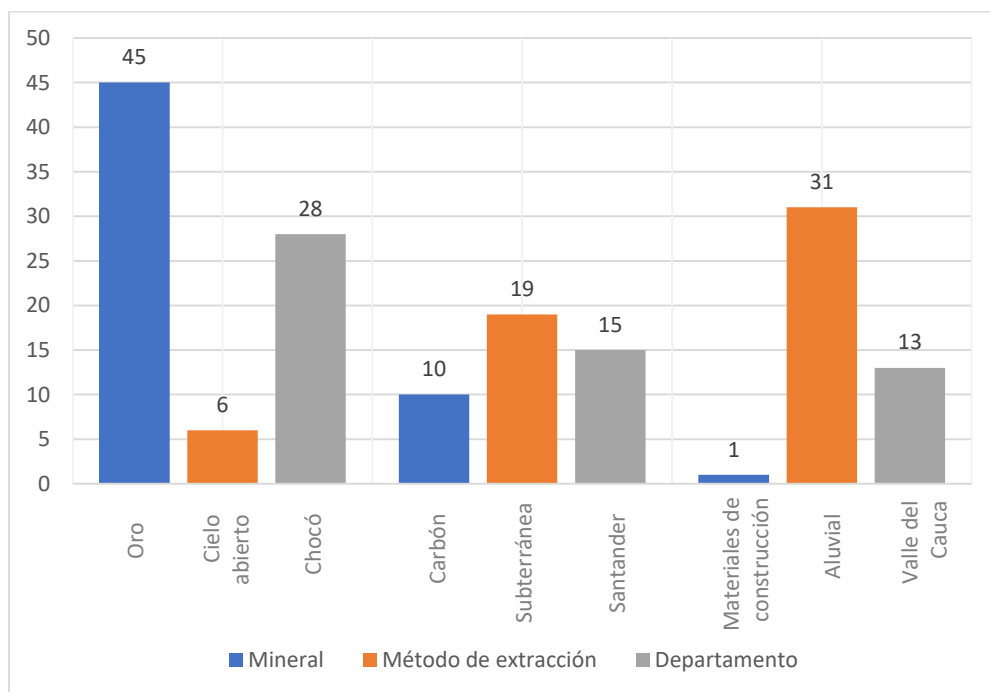
iv) Sismos, procesos de remoción en masa y lluvia intensa, que pueden generar fallas de taludes de los tajos y/o infraestructura asociada como plantas de beneficio y casetas y/o bodegas de almacenamiento de equipos, maquinaria y sustancias químicas. En minas abandonadas a cielo abierto y aluviales, se encontraron taludes de tajos con fuertes pendientes que pueden llevar a la generación de procesos de remoción en masa, lo que a su vez puede afectar en términos de seguridad a los habitantes y animales que se encuentren próximos a la masa deslizante o sus alrededores.

Por otro lado, y en cuanto a la infraestructura asociada a las minas subterráneas abandonadas, UIS y Minminas (2014) identificaron que algunas de las plantas se encuentran ubicadas principalmente sobre roca y suelos rígidos con pendientes semi planas (0-10%) y en pendientes semi inclinadas (10-30%). Las plantas que se encuentran en pendientes semi inclinadas presentan condiciones desfavorables, debido a que los sistemas presentan irregularidades en perfil, debido a la misma pendiente del terreno. Además, debido a las pendientes, se presentan procesos

erosivos en el suelo y posiblemente problemas de estabilidad geotécnica. En términos generales, las edificaciones asociadas a las minas abandonadas ya sea a cielo abierto, subterráneas o aluviales, son antiguas y cuentan un mal comportamiento estructural y un mal estado de conservación (UIS y Minminas). Estos sitios representan un riesgo inminente para los habitantes y animales de la zona, ya que no cuentan con ninguna seguridad para el acceso.

Ahora bien, con el propósito de determinar cuáles de las 169 AMEA pueden representar mayor daño a la salud humana y ecosistemas expuestos, se procedió a realizar la estimación del nivel de amenaza por cada AMEA a través de la sumatoria de los valores de las amenazas identificadas en cada una de ellas, las cuales se categorizaron según la Tabla 4, en: 56 AMEA con nivel de amenaza alta, 92 AMEA con categoría de amenaza media y 21 con categoría de amenaza baja.

En la Figura 3, se relacionan las 56 AMEA con categoría de amenaza alta por tipo de mineral, método de extracción y departamento.



**Figura 3:** AMEA priorizadas por amenazas altas.  
**Fuente:** Autor, 2021.

Lo anterior, muestra que las AMEA más con categoría alta de amenaza están asociadas a las minas de oro de aluvión en el Departamento del Chocó, en su mayoría por contaminación de

aguas superficiales por arrastre de sedimentos, liberación de sustancias nocivas al ambiente como mercurio y cianuro, y falla de taludes de pilas de escombros, tajos e infraestructura abandonada en condiciones inestables. Lo que representa riesgos por contaminación y seguridad para el ambiente y personas presentes en cercanías a estas minas abandonadas.

### 5.3 Identificación y caracterización de potenciales vulnerabilidades

En el presente apartado se presenta la identificación de los elementos ambientales y sociales que se encuentran expuestos a las amenazas o peligros generadas por las AMEA, la cual es de tipo cualitativo y surge a partir del análisis de información espacial de los elementos que mayoritariamente pueden verse afectados por la presencia de estas áreas abandonadas y algunos fenómenos naturales. Para el caso de los elementos ambientales se tuvieron en cuenta el recurso hídrico, áreas protegidas como hábitat de importantes especies de flora y fauna (SINAP y REAA) y reservas forestales como áreas de desarrollo económico forestal y protección de suelos, agua y vida silvestre. Por otro lado, en cuanto a los elementos sociales, se tuvieron en cuenta las cabeceras y centros poblados, los resguardos indígenas y las zonas de reserva campesinas.

Cabe resaltar que, a diferencia de la clasificación de las amenazas, para la estimación de la vulnerabilidad ambiental y social se tuvieron en cuenta las 578 AMEA georreferenciadas, ya que la información secundaria con la que fueron estimadas si se encontraba disponible.

Como resultado del análisis espacial para la identificación de la vulnerabilidad ambiental, en la Tabla 13 se presenta el número de AMEA por categoría de proximidad para cada elemento ambiental expuesto tenido en cuenta.

**Tabla 13.** Identificación de AMEA por categoría de proximidad en elementos ambientales.

Categoría de proximidad	Elementos ambientales			
	No. de AMEA próximas a cuerpos de agua	No. de AMEA próximas a áreas protegidas del SINAP	No. de AMEA próximas a ecosistemas y áreas ambientales	No. de AMEA próximas a reservas forestales
0 - 100 m* ; Dentro	248	35	159	89
100 – 500 m* ; 0 - 500 m	41	19	166	39
> 500 m	289	524	253	450
<b>Total general</b>	<b>578</b>	<b>578</b>	<b>578</b>	<b>578</b>

\* Categoría de proximidad específica para los cuerpos de agua.

**Fuente:** Autora, 2021.

Se observa que 248 AMEA se encuentran dentro del rango de mayor proximidad para los cuerpos de agua, 35 dentro de alguna área protegida del SINAP, 159 dentro de ecosistemas y áreas ambientales y 89 dentro de reservas forestales. De igual manera, se observa que en menor proporción existe presencia de AMEA dentro de los elementos ambientales descritos para la segunda categoría de proximidad y finalmente, que el mayor número de estas se encuentra a una distancia de más de 500 m, por lo que la afectación de dichos elementos ante la presencia de una AMEA y sus posibles amenazas puede ser más baja con respecto a las demás.

Por otra parte, en la Tabla 14 se presenta el número de AMEA por categoría de proximidad por cada elemento social expuesto tenido en cuenta. Se observa que 49 AMEA se encuentran dentro del rango de mayor proximidad para las cabeceras y centros poblados, 2 dentro de resguardos indígenas y ninguna dentro de reservas campesinas.

**Tabla 14.** Identificación de AMEA por categoría de proximidad en elementos sociales.

Categoría de proximidad	Elementos social		
	No. de AMEA próximas a cabeceras y centros poblados	No. de AMEA próximas a resguardos indígenas	No. de AMEA próximas a zonas de reserva campesina
Dentro	49	2	0
0 - 500 m	134	0	0
> 500 m	395	576	578
<b>Total general</b>	<b>578</b>	<b>578</b>	<b>578</b>

**Fuente:** Autora, 2021.

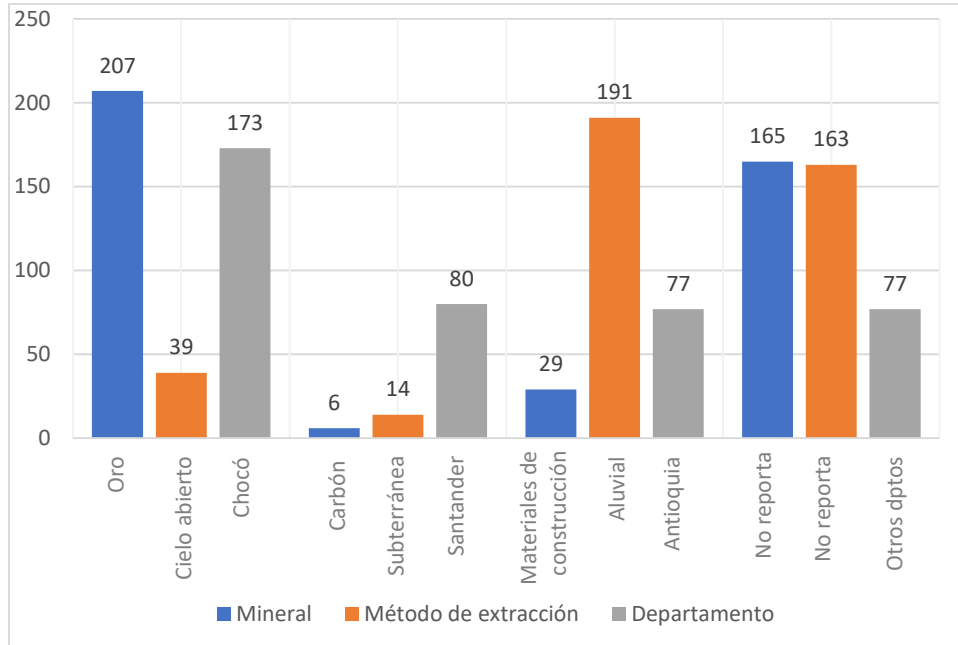
Posteriormente, y de acuerdo con la identificación previa de las AMEA por categoría de proximidad, se clasificaron en vulnerabilidad ambiental y social alta, media y baja teniendo en cuenta los criterios establecidos en la Tabla 6. De esa manera, se obtuvo lo presentado a continuación en la Tabla 15, donde se observa que el 70,4% de las AMEA se identificaron en vulnerabilidad ambiental alta, y el 8,8% en vulnerabilidad social alta.

**Tabla 15.** Identificación de AMEA por vulnerabilidad ambiental y social.

Vulnerabilidad ambiental			Vulnerabilidad social		
Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja
407	111	60	51	134	393

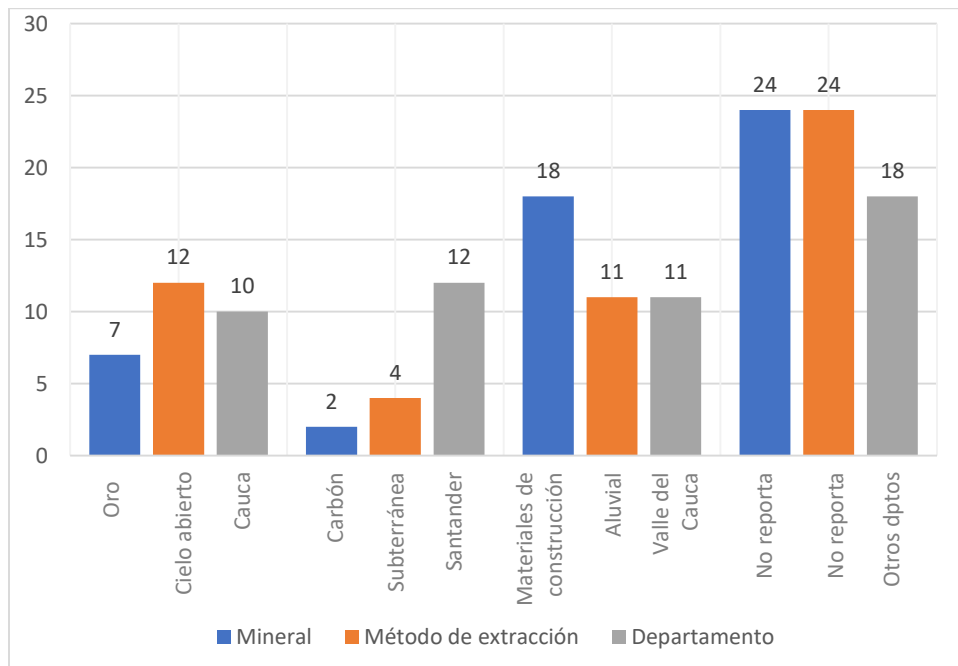
**Fuente:** Autora, 2021.

De otra parte, en la Figura 4 se relacionan las 407 AMEA con vulnerabilidad ambiental alta y en la Figura 5 las 51 AMEA con vulnerabilidad social alta, por tipo de mineral, método de extracción y departamento. El detalle de esta información, se encuentra disponible en el Anexo 2.



**Figura 4:** AMEA priorizadas por vulnerabilidad ambiental alta.

**Fuente:** Autora, 2021.



**Figura 5:** AMEA priorizadas por vulnerabilidad social alta.

**Fuente:** Autora, 2021.

Basados en esa categorización, se pudo establecer que las AMEA asociadas a elementos con vulnerabilidad ambiental alta, se encuentran principalmente en los departamentos de Chocó, Santander, Antioquia, Valle del Cauca, Cundinamarca, Cauca, Cesar y Bogotá, y que los principales cuerpos de agua vulnerables son el río Nechí, río Cauca y río Amacerí en Antioquia, río Andagueda, río San Juan, quebrada las Ánimas, río Condoto y río Quito en Chocó, río Lebrija en Santander y río Dagua y río Cauca en el Valle del Cauca.

Por su parte, dentro de las áreas protegidas del SINAP en categoría de alta vulnerabilidad ambiental, se resaltan Parques Nacionales Naturales, zonas de reserva de la sociedad civil y reservas forestales protectoras; situación que puede poner en riesgo la conservación de genes, especies y ecosistemas de importancia ambiental que las habitan, así como la provisión de bienes y servicios como el agua, alimento, e incluso el turismo, en caso de que las AMEA representen una amenaza.

Por otro lado, en relación con el tipo de mineral extraído para los registros que cuentan con reporte por mineral, se tiene que el 85,5% de estas áreas en categoría de alta vulnerabilidad ambiental corresponden a minas de oro, las cuales son las responsables de la descarga de sustancias altamente contaminantes al recurso hídrico como mercurio y cianuro empleados durante el proceso de explotación y beneficio del mineral, generando un riesgo inminente en áreas en estado de abandono, pues muchos de los entables mineros y acopios de residuos peligrosos se encuentran ubicados en rondas hídricas (UIS y Minminas, 2014). A lo anterior, se le suma la afectación sobre la vida acuática y a las personas que hagan uso de estas aguas para consumo humano.

Finalmente, para la categoría de vulnerabilidad social alta (la cual representa menor número de AMEA (51) en comparación con las vulnerabilidades ambientales altas (407)), se tiene que los elementos sociales expuestos corresponden en el 96,1% a cabeceras y centros poblados, principalmente de los departamentos de Chocó, Santander, Valle del Cauca, Cauca y Bogotá, y el 3,9% a resguardos indígenas ubicados en el municipio de Buenos Aires en Cauca.

#### **5.4 Estimación del riesgo**

Partiendo de la identificación de las potenciales amenazas y vulnerabilidades asociadas a las AMEA y su priorización basados en un análisis cualitativo a partir de información netamente secundaria, se realizó la priorización de las AMEA por nivel de riesgo de acuerdo con lo

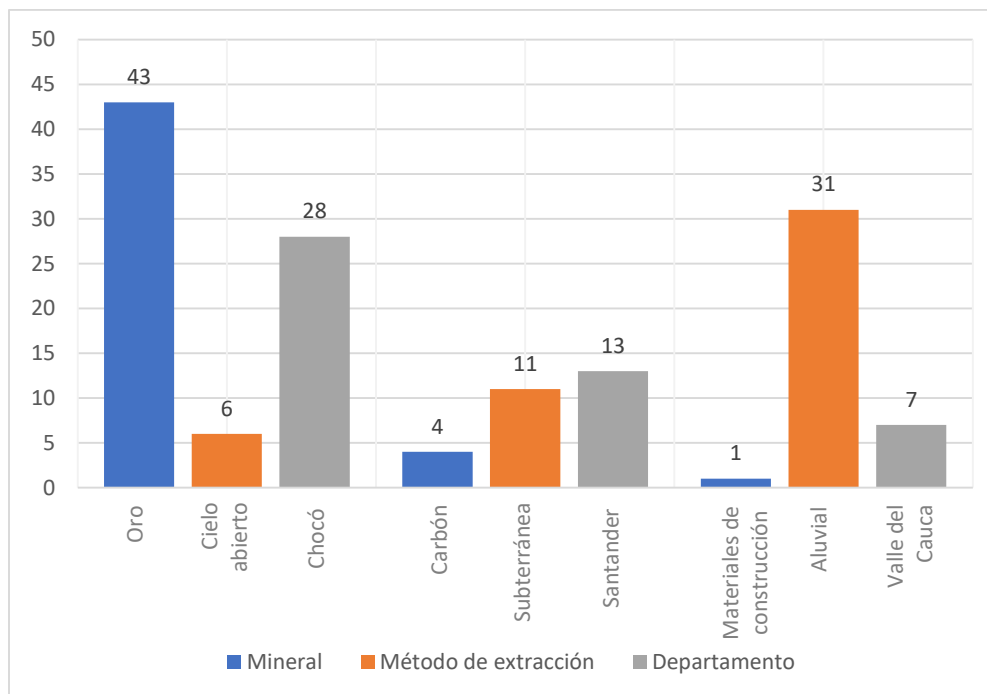
establecido en el numeral 4. Metodología del presente documento, obteniendo los resultados presentados en la Tabla 16, donde se observa que el 28,4% de las AMEA se identificaron en riesgo ambiental alto, y el 1,7% en riesgo social alto. El detalle de esta información, se encuentra disponible en el Anexo 2 del presente documento.

**Tabla 16.** Priorización de AMEA por nivel de riesgo.

Riesgo ambiental			Riesgo social		
Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja
48	94	27	3	46	120

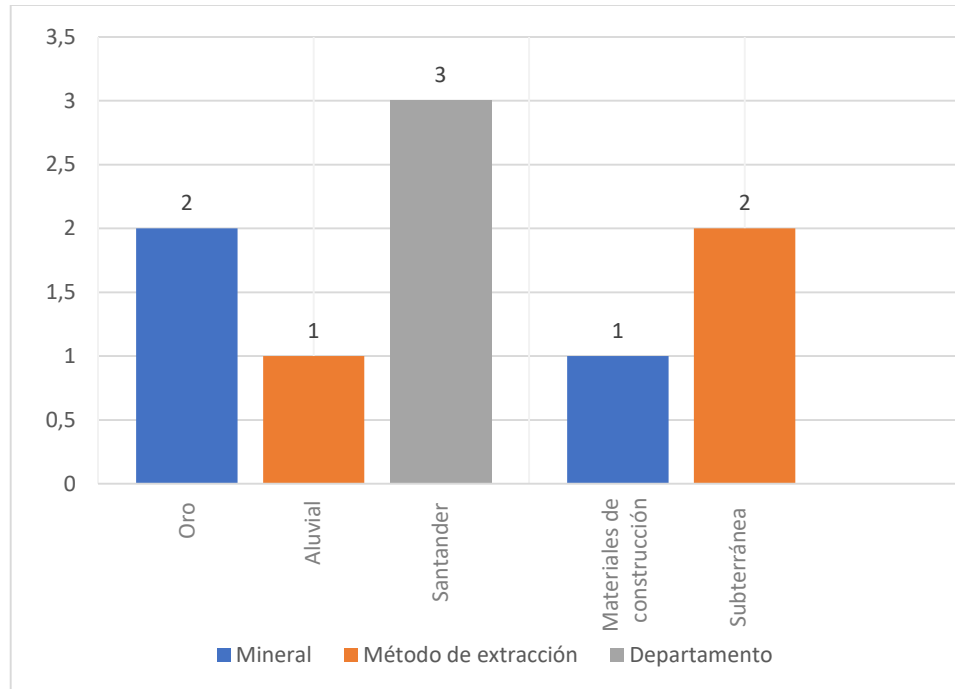
**Fuente:** Autora, 2021.

Por otro lado, en la Figura 6 se relacionan las 48 AMEA con riesgo ambiental alto y en la Figura 7 las 3 AMEA con riesgo social alto, por tipo de mineral, método de extracción y departamento.



**Figura 6:** AMEA priorizadas por nivel de riesgo ambiental alto.

**Fuente:** Autora, 2021.



**Figura 7:** AMEA priorizadas por nivel de riesgo social alto.

**Fuente:** Autor, 2021.

De acuerdo con lo anterior, se evidencia que las AMEA asociadas a minería aluvial de oro en el departamento de Chocó son las que representan el mayor nivel de riesgo ambiental para los ecosistemas, biodiversidad y recursos que se encuentran en inmediaciones de estos sitios abandonados que no poseen ningún control, seguido por Santander y Valle del Cauca.

Por su parte, las AMEA categorizadas en el nivel alto de riesgo social, se encuentran ubicadas en Santander y hacen referencia a minería de oro y materiales de construcción, a través de los métodos de extracción subterráneo y aluvial. Es importante mencionar, que la categoría alta de riesgo social arrojó solo 3 AMEA, teniendo en cuenta que para que exista una condición de riesgo se requiere que existan elementos expuestos y vulnerables con relación a los fenómenos amenazantes, y para el presente caso, en las AMEA donde se presentan amenazas significativas, no existen elementos sociales expuestos que puedan ser vulnerados.

Teniendo en cuenta que tanto las amenazas como los riesgos clasificados en categorías altas están asociados en su mayor proporción a la minería aluvial de oro en el Chocó, a continuación, se mencionan las posibles razones, sus efectos y cuantificación de áreas afectadas.

De manera particular, el departamento del Chocó, como parte de pacífico colombiano, representa una de las zonas más afectadas por minería ilegal en el país (ESRI, 2017). Esta región pudo haberse identificado con el mayor nivel de riesgo porque se caracteriza por tener una fuerte presencia de grupos armados ilegales que emplean esta actividad como fuente productiva de financiamiento, por contar con una situación de pobreza severa que conlleva a la extracción de recursos naturales como el oro y porque se ubicación es estratégica con las rutas de tráfico ilegal (Sánchez y Vanegas, 2015). Adicionalmente, la dependencia de la población con la minería en la región, impide que las autoridades locales puedan ejercer un efectivo control de esta práctica en el departamento (UNODC, 2013), lo que agudiza su situación.

Una de las grandes preocupaciones sobre la minería aluvial de oro es que en el mayor de los casos los puntos de donde se extrae el mineral se extienden por kilómetros sobre los cauces, generando disminución de la capacidad hidráulica del río, y por ende, amenazas por deslizamiento e inundaciones, y un excesivo aporte de sedimentos suspendidos y disueltos que generan contaminación de las aguas con las que se abastecen las poblaciones, además de contener sustancias altamente tóxicas como cianuro y mercurio empleadas en el proceso del beneficio del mineral (IPBES, 2019b); ejemplos de ello son el río Juan en el Chocó, el río Dagua en el Valle del Cauca y el río Nechí en Antioquia (Ilustración 1).



**Ilustración 1.** Afectación del río Dagua en Valle del Cauca por minería aluvial de oro.

**Fuente:** Semana sostenible, 2010.

De igual manera, la magnitud del desastre asociado con los efectos de la minería aluvial de oro, apenas se está cuantificando; el Sistema de Monitoreo Antinarcóticos de la Policía (SIMA), que utiliza alta tecnología para ubicar las zonas con cultivos ilícitos y minería clandestina, señala

que hay 95.000 ha con afectación por efectos de este tipo de minería en el país, Chocó (40.780 ha), Antioquia (35.581 ha), Bolívar (8.629 ha) y Córdoba (5.291 ha) tienen los mayores niveles de daño (ESRI, 2017).

Cabe resaltar que los rezagos de las minas abandonadas en el país, aunque en su mayoría corresponden a minería ilegal, algunas otras pueden corresponder a aquellas minas autorizadas que operaron y realizaron su cierre previo a la expedición del Código de Minas (Ley 685 del 2001) y a la normativa en materia ambiental sobre licenciamiento (Ley 99 de 1993), lo que “favoreció” que estas no realizaran un adecuado cierre que garantizara el control de los impactos al cese de la actividad.

En cuanto a la información recolectada, se puede decir que existen limitaciones en cuanto a la disponibilidad de la información y a la no existencia de un inventario unificado y estandarizado con una mínima información por parte de fuentes oficiales, pues de las 1056 AMEA inventariadas de diferentes fuentes de información (Tabla 1), solo se obtuvo la georreferenciación (información básica para determinar vulnerabilidades de elementos expuestos) de 578, y de esas últimas solo se obtuvo información asociada a condiciones propias de estas áreas, como: residuos peligrosos, efluentes contaminantes, otros desechos presentes, condiciones estructurales de la infraestructura asociada y condiciones de estabilidad de las minas o frentes de explotación (información básica para identificar y analizar amenazas) de 169 AMEA.

Finalmente, es importante aclarar que teniendo en cuenta que el análisis sobre la priorización del nivel de riesgos de las 169 minas abandonadas fue de tipo cualitativo, se considera necesario realizar un análisis detallado con expertos, con información obtenida en campo para determinar un grado de afectación más preciso e identificar todos los factores que pueden alterar los recursos naturales y la seguridad y salud de las comunidades.

## **5.5 Protocolo de recomendaciones para la evaluación semi-cuantitativa de riesgos en AMEA**

El desarrollo de un proceso de evaluación de riesgos asociados a la salud humana y al ambiente para escenarios en los que existe una sospecha de impacto potencial sobre estos elementos, implica realizar un proceso previo de evaluación que oriente hacia la necesidad o no de determinar más detalladamente (con monitoreos de todos los recursos, modelaciones, comparación con límites de referencia, análisis de toxicidad, entre otros) un nivel de riesgo que

eventualmente requiera algún tipo de intervención. Es por esto que, en este apartado se presentan recomendaciones para realizar una evaluación preliminar de riesgos en las AMEA que a futuro identifiquen y consoliden en un único inventario oficial y de manera conjunta la autoridad minera y ambiental, con el fin de identificar en un primer análisis semi-cuantitativo los riesgos asociados a la salud y la seguridad de las comunidades y ecosistemas más vulnerables y próximos a estas áreas.

### 5.5.1 Recopilación y levantamiento de la información

Es importante destacar que, para ambos tipos de riesgo (de seguridad y contaminación) y como primera medida, se debe indagar en campo algunas condiciones que tienen lugar en las instalaciones interiores de la AMEA, así como de su entorno, y que son fundamentales para identificar los factores de riesgo asociados a cada AMEA. La información puede ser levantada por visita de observación y entrevistas a las comunidades y autoridades locales. De igual manera, cabe resaltar que alguna de esta información, puede obtenerse de imágenes satelitales de alta resolución. Dentro de la información que se recomienda recopilar en cada área, se encuentra la mencionada en la Tabla 17:

**Tabla 17.** Información para la caracterización de las AMEA.

Tipo de información	Descripción
Condiciones básicas de la AMEA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipo de mina abandonada (de acuerdo con el mineral y métodos de extracción).</li> <li>- Identificación del responsable de la mina abandonada (empresa, persona, grupo de personas).</li> <li>- Origen de la mina abandonada (legal o ilegal).</li> <li>- Fecha aproximada del abandono.</li> <li>- Plantas de procesamiento, bodegas, equipos, maquinaria abandonada, insumos utilizados, actividades y procesos que se ejecutaron en cada AMEA.</li> <li>- Residuos (escombros, relaves, estériles y demás material de desecho con posibles contenidos de cianuro, metales pesados, entre otros).</li> <li>- Drenajes de mina.</li> <li>- Olores ofensivos.</li> <li>- Posibles contaminantes presentes en el sitio de área por el desarrollo de la actividad.</li> </ul>
Condiciones del entorno	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuerpos hídricos cercanos (lénticos y lóticos) que puedan verse afectados por la AMEA, direcciones de flujo, alteraciones físicas (canalizaciones, modificación del cauce, escombros, etc.) y su distancia respecto a cada AMEA.</li> </ul>

Tipo de información	Descripción
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usos del agua dados por la comunidad y puntos de captación de agua superficial y subterránea, y su distancia respecto a cada AMEA.</li> <li>- Evidencia de drenajes que en su momento no cuenten con agua, pero que durante épocas de lluvias pueden transportar agua, y su distancia respecto a cada AMEA.</li> <li>- Humedales o pantanos, estado y su distancia respecto a cada AMEA.</li> <li>- Tipo de suelo y profundidad de las aguas subterráneas.</li> <li>- Existencia de ecosistemas estratégicos y de importancia ambiental cerca del área de localización de la AMEA o incluso que hagan parte del área donde esta se localiza, como: áreas protegidas del SINAP, reservas forestales Ley 2da de 1959, áreas de distinción internacional (sitios RAMSAR, AICAS, reservas de la Biosfera, Patrimonio de la humanidad, entre otros), ecosistemas y áreas de importancia ambiental no incluidos en el SINAP, suelos de protección que hacen parte de los POT, PBOT y EOT.</li> <li>- Ecosistemas (bosque denso, bosque de galería, arbusto, tierras desnudas, afloramiento rocoso, etc.).</li> <li>- Áreas agrícolas (tipo de cultivo), áreas ganaderas, distancia respecto a cada AMEA y procedencia del agua usada en las actividades.</li> <li>- Existencia de actividad minera activa (legal o ilegal) y su distancia con respecto a la AMEA.</li> <li>- Existencia de otras actividades de explotación de recursos naturales y su distancia con respecto a la AMEA.</li> <li>- Existencia de otras actividades económicas que puedan potenciar los efectos de las AMEA y su distancia respecto a ellas.</li> <li>- Vías de acceso, condiciones estructurales de las mismas y su distancia respecto a cada AMEA.</li> <li>- Asentamientos humanos y su distancia respecto a cada AMEA, número de viviendas y habitantes, grupo de población, condiciones de salud, estilos de vida, etc.</li> <li>- Existencia de quejas asociadas a las AMEA e interpuestas en autoridades locales y/o regionales.</li> <li>- Información de eventos relevantes que hayan ocurrido en el área de interés y hayan sido causantes de alguna alteración a la salud humana y del ambiente.</li> <li>- Afectaciones en los componentes agua, suelo y biota, identificables mediante observación.</li> <li>- Demás factores relevantes a criterio de los profesionales.</li> </ul>

**Fuente:** Autora, 2021.

De igual manera, se sugiere dentro del levantamiento de información en campo, realizar la siguiente identificación de fenómenos/situaciones asociadas a los posibles riesgos por seguridad (Tabla 18) y la medición de parámetros clave de calidad de agua relacionados con los posibles riesgos por contaminación (Tabla 19) de cada AMEA; información que será esencial para alimentar el modelo conceptual inicial. Se sugiere la matriz agua como el medio para realizar una caracterización inicial, teniendo en cuenta que, en caso de evidenciar concentraciones de estos

contaminantes en este medio, estos podrán estar presentes de igual manera en aguas subterráneas y suelos.

**Tabla 18.** Fenómenos/situaciones a identificar por método de extracción para riesgo por seguridad.

Método de extracción	Fenómeno/Situación
Cielo abierto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Procesos de remoción en masa</li> <li>- Inestabilidad de taludes</li> <li>- Inundaciones (de tajo abierto)</li> <li>- Estado de la infraestructura asociada a la mina (plantas de procesamiento, casetas y/o bodegas de almacenamiento)</li> </ul>
Subterráneas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Subsistencia</li> <li>- Inestabilidad de infraestructura del socavón</li> <li>- Inundaciones (de bocamina abierta)</li> <li>- Estado de la infraestructura asociada a la mina (plantas de procesamiento, casetas y/o bodegas de almacenamiento)</li> </ul>
Aluvial	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inundaciones (en terrazas aluviales, riberas y/o cauces)</li> <li>- Procesos de remoción en masa</li> <li>- Inestabilidad de márgenes de cauces</li> <li>- Estado de la infraestructura asociada a la mina (plantas de procesamiento, casetas y/o bodegas de almacenamiento)</li> </ul>

**Fuente:** Autora, 2021.

Por otro lado, en la Tabla 19 se relacionan parámetros clave de calidad de agua para medir en un diagnóstico inicial en minas de oro, carbón y materiales de construcción, por ser las principales minas que de acuerdo con la presente investigación se identificaron como abandonadas. Es posible que algunas de estas sustancias contaminantes se encuentren en la AMEA por haber sido empleadas en los procesos de explotación y beneficio de los minerales, porque se encuentran naturalmente en la roca y se encuentran expuestas al medio, o por reacción de algunos elementos (residuos, relaves, estériles, etc.) bajo ciertas condiciones ambientales.

**Tabla 19.** Parámetros clave a monitorear por tipo de mineral para riesgo por contaminación.

Mineral	Parámetros
Oro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pH</li> <li>- Sulfatos</li> <li>- Cianuro</li> <li>- Metales pesados: aluminio (Al), arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), hierro (Fe), plomo (Pb), mercurio (Hg), molibdeno (Mo), níquel (Ni) y zinc (Zn).</li> <li>- Sólidos suspendidos</li> </ul>
Carbón	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pH</li> </ul>

Mineral	Parámetros
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Azufre</li> <li>- Sulfatos</li> <li>- Metales pesados: aluminio (Al), arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), hierro (Fe), plomo (Pb), mercurio (Hg), molibdeno (Mo), níquel (Ni) y zinc (Zn).</li> <li>- Sólidos suspendidos</li> </ul>
Materiales de construcción	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sólidos suspendidos</li> <li>- Sólidos disueltos</li> </ul>

**Fuente:** Autora, 2021.

Dichas mediciones se proponen realizar sobre los cuerpos de agua identificados en proximidad a las AMEA que puedan ser posiblemente afectados por los contaminantes liberados por los elementos principales de la mina abandonada (frentes de explotación, depósito de relaves, depósito de estériles, plantas de procesamiento, etc.), a una distancia sugerida dentro de 500 m (MAVDT, 2007) de cada uno de los elementos sobre los que se identifique potencial contaminación.

Si existen pozos de suministro de agua próximos a las AMEA de los que se tenga conocimiento que capten de los mismos acuíferos posiblemente afectados por labores subterráneas o incluso superficiales, se podrán monitorear inicialmente los mismos parámetros relacionados previamente por tipo de minería.

Una caracterización más detallada de todos los recursos, que contemple diferentes puntos de medición (aguas arriba y aguas debajo de los puntos de potencial contaminación) e involucre otros parámetros como grasas y aceites (cuando haya presencia de equipos y maquinaria), nitrógeno de amonio (cuando se hayan presentado voladuras), ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido clorhídrico (empleados para el beneficio de minerales), entre otros, deberá realizarse en una evaluación de riesgos detallada de tipo cuantitativo, específicamente para aquellos riesgos que se determinen como significativos en la evaluación de riesgos semi-cuantitativa.

### **5.5.2 Georreferenciación de información**

Para efectos de visualizar de manera exacta la AMEA y los elementos que potencialmente se encuentren expuestos a partir de las amenazas generadas por estos sitios, y realizar un análisis espacial más aproximado y detallado a nivel de riesgos, se recomienda que a través de un SIG se

georreferencien tales elementos para obtener un panorama general del entorno del área en función de las variables físicas, bióticas y/o socioeconómicas que sean posibles de cartografiar con base en la información primaria obtenida o de imágenes satélite de alta resolución. La información deberá contar con la escala apropiada para el análisis de las posibles afectaciones de acuerdo con el componente, fenómeno analizado y el área de la mina abandonada. Para este tipo de investigaciones pueden recomendarse escalas entre 1:1.000 y 1:5.000, las cuales están sujetas al área del sitio y de los elementos de los que se tenga información geográfica y que se requieran visualizar para el respectivo análisis.

### **5.5.3 *Modelo conceptual inicial de la AMEA***

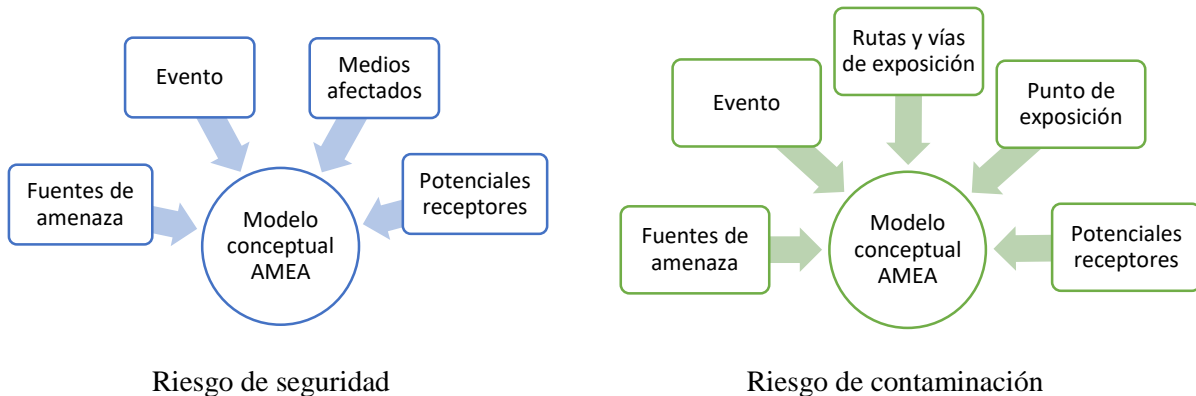
Una vez georreferenciada y caracterizada la AMEA y su entorno a partir del levantamiento de la información primaria y/o secundaria, y de acuerdo con lo sugerido en la *Guía para la elaboración de estudios de evaluación de riesgos a la salud y el ambiente (ERSA) en sitios contaminados* del Ministerio del Ambiente de Perú (2015), se recomienda proceder a elaboración del modelo conceptual del sitio como un esquema descriptivo del sistema ambiental y sus condiciones físicas, químicas y biológicas, que permitan determinar los procesos que dan lugar a los escenarios de riesgo a través de la identificación de las fuentes de riesgo por seguridad y contaminación, las rutas y vías de exposición, los receptores potenciales y los medios afectados. De igual manera, es pertinente identificar las consecuencias que pueda generar el desarrollo de una situación de riesgo, para lo cual deberá hacerse una distinción entre las consecuencias a las personas y al ambiente.

Es importante destacar que el desarrollo del modelo conceptual es un proceso iterativo, que debe retroalimentarse con nueva información que se genere en las diferentes etapas de investigación y evaluación de riesgo. Esta herramienta se considera útil para la gestión de estas áreas con gran potencial de riesgo y afectación a la salud humana y ambiente, que además tiene como propósitos (Ministerio del Ambiente de Perú, 2015):

- Organizar de forma estructurada la información disponible de la AMEA.
- Facilitar el entendimiento de las características de la AMEA y de las interconexiones potenciales entre los riesgos por seguridad y por contaminación y los receptores.
- Apoyar en la identificación de vacíos de información.

- Apoyar en la toma de decisiones (ej. en la planificación de los muestreos y de acciones de remediación y restauración, diseño de estudios epidemiológicos de las comunidades afectadas, entre otras.)

Los elementos que deben ser identificados para el planteamiento del modelo conceptual de la AMEA para riesgo de seguridad y de contaminación, se relacionan en la Figura 8.



**Figura 8.** Elementos del modelo conceptual de la AMEA.

**Fuente:** Adaptado de AQUAVIVA, 2016.

De igual manera, a continuación, se describen los elementos del modelo conceptual de la AMEA para el riesgo de seguridad y de contaminación relacionados en la Figura 8.

### Fuentes de amenaza

Para la identificación de las fuentes de amenaza, es importante hacer uso de la información primaria obtenida a través de la visita en campo y/o secundaria recopilada. Esta identificación, se presenta como el paso más importante que permite realizar un diagnóstico claro de las situaciones que están presentes en la AMEA. La identificación de amenazas será fundamento clave para reconocer los receptores y rutas de exposición.

Dentro de las principales amenazas identificadas en la presente investigación para este tipo de áreas y de la determinación de la bibliografía consultada, se tiene que las principales amenazas asociadas a las AMEA pueden estar relacionadas con: falla de taludes, deslizamientos, subsidencias, explosiones, generación de drenaje ácido de mina, lixiviación de sustancias tóxicas contenidas en los relaves, estériles y demás material de desecho con posibles contenidos de cianuro y metales pesados.

Para riesgos por contaminación, es importante mencionar que algunos criterios que pueden tenerse en cuenta en la identificación e inclusión de los contaminantes para el modelo conceptual inicial son:

**Tabla 20.** Criterios para la identificación de contaminantes en el modelo conceptual inicial.

<b>Criterio</b>	<b>Característica</b>
Toxicidad	Propiedad de una sustancia o mezcla de sustancias de provocar efectos adversos en la salud o en los ecosistemas.
Movilidad	Transporte de una sustancia contaminante dentro de uno o varios compartimentos ambientales (agua, suelo, aire y biota - plantas y animales) a través de procesos físicos, químicos y biológicos.
Persistencia	Dificultad de que una sustancia contaminante se degrade en el ambiente.
Bioacumulación	Concentración resultante acumulada en el ambiente o en los tejidos de organismos a partir de la incorporación, distribución y eliminación de contaminantes obtenidos por todas las rutas de exposición. La acumulación se da debido a su persistencia, la baja o nula alteración por el metabolismo del organismo y/o diversas características fisicoquímicas del contaminante.
Carcinogenicidad	Sustancia o mezcla de sustancias que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea, puede ocasionar cáncer o incrementar su frecuencia.
Mutagenicidad	Sustancia o mezcla de sustancias con capacidad de producir alteraciones del material genético celular (genes, cromosomas) que da lugar a una modificación permanente de la constitución hereditaria.
Alteradores endócrinos	Sustancia o mezcla de sustancias que alteran las funciones del sistema endocrino, y que por consiguiente perjudica la forma de vida de un individuo, de su descendencia o de poblaciones enteras.

**Fuente:** Galán y Romero, 2008; y Rodríguez, 2017.

### Evento

Hace referencia al tipo de evento que se puede generar por la fuente de peligro o amenaza (falla de talud, subsidencia, explosión, generación de ácido de mina, lixiviación de metales, liberación de relaves, entre otros), el cual a su vez genera afectaciones a los receptores.

### Rutas y vías de exposición

Para el caso de riesgos por contaminación, la ruta de exposición corresponde al medio a través del cual los contaminantes migran hacia los receptores en el punto de exposición desde la fuente en que se generan, y la vía de exposición a la vía por la que el contaminante puede entrar en contacto con el receptor (inhalación, ingesta, contacto dérmico). Su identificación permitirá determinar las exposiciones pasadas, presentes o futuras en las AMEA con el fin de identificar los escenarios de riesgo sujetos a la metodología de valoración cualitativa del riesgo. Además,

permitirá diseñar estrategias de prevención para salvaguardar la calidad de vida del ser humano y los ecosistemas.

En la siguiente tabla, se presentan las principales vías de exposición de acuerdo con las rutas de exposición.

**Tabla 21.** Principales vías de exposición por rutas de exposición.

<b>Ruta de exposición</b>	<b>Vía de exposición</b>
Aire	Inhalación.
Polvo	Inhalación, ingesta, contacto dérmico.
Agua	Ingesta, contacto dérmico.
Suelo	Ingesta.
Alimentos	Ingesta.
Suelo, agua	Absorción radicular y foliar.

**Fuente:** AQUAVIVA, 2016.

#### Punto de exposición

Lugar donde las comunidades y ecosistemas entran en contacto con el contaminante (p.e. cuerpos de agua, cultivos, viviendas, etc.) a través de las diferentes vías de exposición.

#### Medios afectados

Para el caso de riesgos por seguridad, los medios afectados hacen referencia a los recursos naturales abióticos como suelo, agua y aire que pueden ser afectados por una fuente generadora, y es a través de los cuales los receptores se ven involucrados y afectados por un evento desencadenado.

#### Potenciales receptores

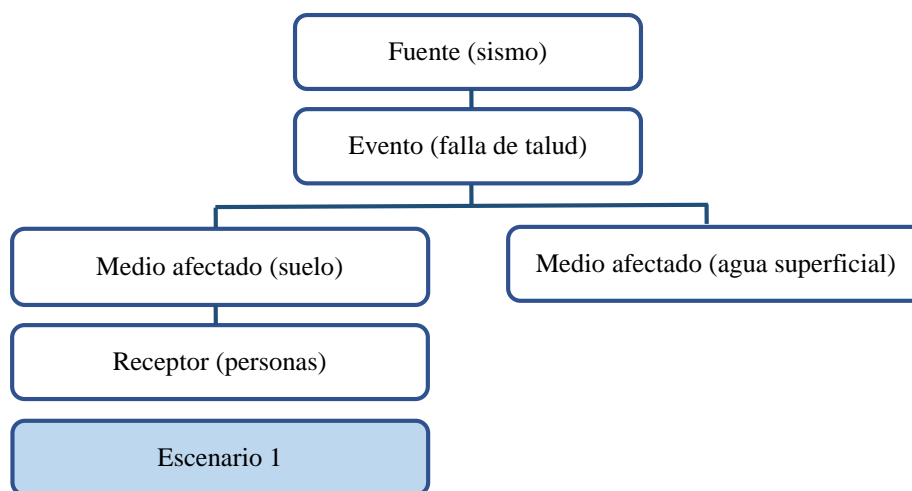
La identificación de los receptores tiene como objetivo describir las características de los individuos, organismos o poblaciones que están o pueden estar expuestos a los diferentes escenarios de riesgo. Esta información es necesaria para desarrollar los escenarios de exposición. Los receptores pueden estar definidos como: humanos (personas, familias, comunidades) y ecológicos (flora y fauna).

#### **5.5.4 Identificación de escenarios de riesgo**

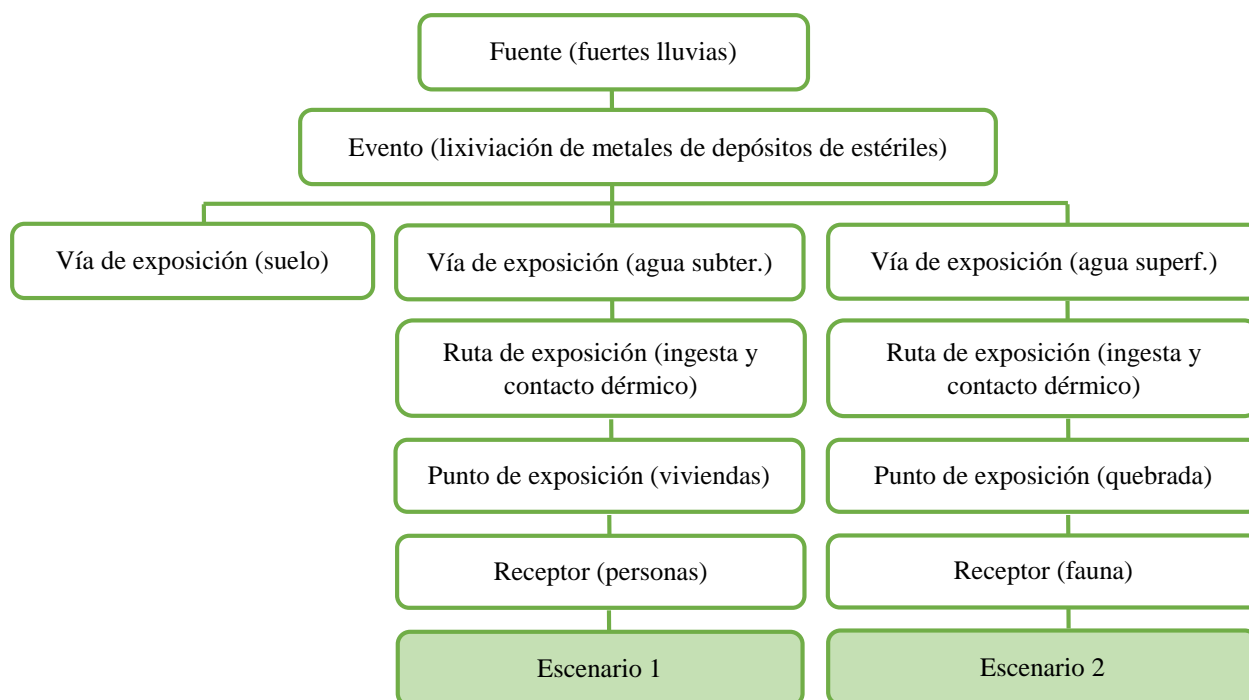
Para realizar la identificación de los escenarios de riesgo, se debe hacer uso de la información recopilada en el diseño del modelo conceptual (Ministerio del Ambiente de Perú, 2015). Aquí se deben priorizar los escenarios de riesgo en los que se identifique la combinación fuente-medio-receptor para riesgo de seguridad y la combinación contaminante-ruta-receptor para riesgo por contaminación, los cuales requieren ser evaluados por la metodología semi-cuantitativa de riesgo. Los escenarios de riesgo identificados permitirán evidenciar claramente las situaciones de mayor interés, con el fin de calificar y otorgar una clasificación de riesgo de los mismos. Cada escenario de riesgo identificado refleja la situación de exposición a la que se encuentra un receptor y las afectaciones en los diferentes entornos (social, ambiental y económico).

La evaluación semi-cuantitativa de riesgo solo debe contemplar aquellas combinaciones que puedan generar efectos adversos significativos para los receptores, y dejar de lado sólo aquellos escenarios para los que el profesional a cargo pueda garantizar que el nivel de riesgo es despreciable.

En las Figuras 9 y 10 se presentan ejemplos de los diagramas del modelo conceptual que permitirán identificar los escenarios de riesgo de seguridad y de contaminación. En ambos ejemplos existen rutas de exposición tanto completas como incompletas. Las completas cuentan con todos sus elementos de exposición, y son las que deben ser consideradas para la estimación de riesgos. Si no hay posibilidad de afectación entre el receptor y las consecuencias del evento, o posibilidad de contacto entre el receptor y los contaminantes, la ruta es considerada incompleta. En pocas palabras, si no hay receptores expuestos o no hay elementos conectados, no deberá proceder la estimación de riesgos.



**Figura 9.** Ejemplo diagrama modelo conceptual para riesgo de seguridad.  
**Fuente:** Autora, 2021.



**Figura 10.** Ejemplo diagrama modelo conceptual para riesgo de contaminación.  
**Fuente:** Autora, 2021.

En cuanto a la información necesaria para la construcción del modelo, se recomienda incorporar especificaciones que permitan obtener un concepto general de la situación que se presenta en la AMEA, con el propósito de ofrecer una visión clara y concisa para quien requiera analizarla posteriormente.

### 5.5.5 *Estimación de amenazas*

Una vez identificados los escenarios de riesgo para cada AMEA, es necesario asignar un valor de amenaza en función de la probabilidad de ocurrencia o probabilidad de que se materialice cada escenario de riesgo.

Para establecer la probabilidad de ocurrencia de los escenarios, se recomienda realizar una línea de tiempo con los escenarios de riesgo que tienen lugar en el sitio; dicha metodología ayudará a establecer el criterio más preciso para realizar la evaluación, es así como se establecerá si las afectaciones tuvieron o tienen lugar en periodos de tiempo semanales, mensuales o anuales y realizar la evaluación respectiva.

A continuación, en la Tabla 22 se presentan los rangos para la valoración semi-cuantitativa de la amenaza.

**Tabla 22.** Rangos de valoración de la probabilidad de ocurrencia de un hecho.

<b>Valor</b>	<b>Probabilidad de ocurrencia</b>	
1	Muy baja	Una vez cada 5 años
2	Baja	Más de una vez en el año
3	Media	Más de una vez al mes
4	Alta	Una vez a la semana
5	Muy alta	Más de una vez a la semana

**Fuente:** SERNAGEOMIN, 2014.

### 5.5.6 *Estimación de vulnerabilidades*

La evaluación de la vulnerabilidad permite identificar de manera semi-cuantitativa el nivel de afectación para los diferentes entornos generados por los escenarios identificados anteriormente.

La estimación de la vulnerabilidad en función de la afectación se realiza de forma diferenciada para el entorno ambiental, social y económico. Dicho nivel de valoración se efectuará mediante una evaluación semi-cuantitativa tal como se presenta en la Tabla 23.

**Tabla 23.** Rango de valoración de la vulnerabilidad en el entorno ambiental, social y económico.

Valor		Vulnerabilidad		
		Ambiental	Social	Económica
1	Ninguna	Grado de alteración mínima en que el componente ambiental se mantiene en su línea base.	No tiene potencial de afectar a individuos y comunidades en términos de su calidad de vida, salud e integridad.	No tiene potencial de afectar infraestructura (de servicios, equipamientos básicos, unidades productivas, viviendas).
2	Baja	Grado de alteración en que el componente ambiental se modifica de forma baja en su línea base.	Tiene potencial bajo de afectar a individuos, comunidades y/o infraestructura (de servicios, equipamientos básicos, unidades productivas, viviendas)	Tiene potencial bajo de afectar infraestructura (de servicios, equipamientos básicos, unidades productivas, viviendas).
3	Regular	Grado de alteración moderado que implica cambios parciales en la línea base del componente.	Tiene potencial medio de afectar a individuos, comunidades y/o infraestructura (de servicios, equipamientos básicos, unidades productivas, viviendas)	Tiene potencial medio de afectar infraestructura (de servicios, equipamientos básicos, unidades productivas, viviendas).
4	Alta	Grado de alteración mayor que implica una eventual eliminación del componente ambiental o un cambio relevante de su línea base.	Tiene potencial alto de afectar a individuos, comunidades y/o infraestructura (de servicios, equipamientos básicos, unidades productivas, viviendas)	Tiene potencial alto de afectar infraestructura (de servicios, equipamientos básicos, unidades productivas, viviendas).
5	Catastrófica	Grado de alteración mayor que implica la eliminación del componente ambiental o el cambio total de su línea base.	Tiene potencial muy alto de afectar a individuos, comunidades e infraestructura (de servicios, equipamientos básicos, unidades productivas, viviendas)	Tiene potencial muy alto de afectar infraestructura (de servicios, equipamientos básicos, unidades productivas, viviendas).

**Fuente:** Autora, 2021.

### 5.5.7 Estimación del riesgo

Ahora bien, para estimar el riesgo de manera semi-cuantitativa, se plantea realizar el producto de la amenaza en función de la probabilidad de ocurrencia y la vulnerabilidad en función de la gravedad de la afectación, la cual se debe determinar para los tres entornos (social, ambiental y económico), de la siguiente manera:

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} * \text{Vulnerabilidad}$$

Para estimar el nivel de riesgo de cada escenario se hará uso de una matriz presentada en la Tabla 24, la cual será alimentada por los valores de amenaza y vulnerabilidad determinados anteriormente para finalmente clasificar el riesgo de acuerdo a los rangos establecidos.

**Tabla 24.** Matriz de clasificación de riesgo.

			<b>Vulnerabilidad ambiental, social y económica</b>				
			Ninguna	Baja	Regular	Alta	Catastrófica
			1	2	3	4	5
<b>Amenaza</b>	Muy baja	1					
	Baja	2					
	Media	3					
	Alta	4					
	Muy alta	5					

<b>Clasificación del riesgo</b>	<b>Rango</b>
<b>Alto</b>	<b>16 – 25</b>
<b>Medio</b>	<b>6 – 15</b>
<b>Bajo</b>	<b>1 – 5</b>

**Fuente:** Adaptado de Ministerio del Ambiente de Perú, 2010.

La valoración de riesgos por categoría alta, media y baja, permite determinar la importancia de proceder a realizar una evaluación más detallada (evaluación cuantitativa). Aquellos escenarios de riesgo que se encuentren en la clasificación de riesgo alto y medio deberán ser evaluados de manera más detallada, ya que se consideran escenarios de riesgo significativos, para lo cual se requiere realizar mediciones y cálculos puntuales para determinar de manera explícita las afectaciones a los recursos naturales y salud en las personas. Para los riesgos clasificados con categoría baja, será necesario tomar medidas de prevención, con el fin de reducir la probabilidad de ocurrencia, y evitar la aparición de riesgos significativos.

## 6. CONCLUSIONES

En Colombia no existe un inventario completo y consolidado de AMEA, situación que limita y complejiza su evaluación, priorización para la intervención y definición de acciones de remediación, restauración o gestión del riesgo de acuerdo con las condiciones del sitio y la problemática socioambiental existente.

La no ejecución de un cierre de minas planeado, lleva a que se generen situaciones de daño al ambiente y a la salud de las personas, principalmente aquellos asociados a riegos por seguridad y contaminación, dentro de los que se encuentran subsidencias, falla de taludes inestables, generación de drenajes ácidos de mina, lixiviación de metales u otros contaminantes y aporte de grandes cantidades de sedimentos a cuerpos de agua, los cuales persisten después de haber finalizado la actividad que los ocasionó, y demuestran la necesidad de intervención humana para gestionarlos, pues tras estas afectaciones antrópicas y sus grandes magnitudes el ambiente, en algunos casos, no tiene la capacidad de recuperarse por sí solo.

La determinación del nivel de riesgo para el inventario de AMEA al que hace referencia la presente investigación, permite tener en términos generales una aproximación a la realidad al ser un análisis cualitativo, es por esto que, a escala regional y local se requiere que en las áreas en donde se determinó amenaza alta y media se realice un análisis detallado de riesgos de tipo cuantitativo, involucrando caracterización y toma de datos de los recursos naturales y también de las condiciones sociales, exploración del subsuelo rigurosa y geología de detalle, tanto en el lugar donde se localizan las AMEA, como de su entorno.

El departamento con mayor presencia de AMEA y mayor nivel de riesgo identificado en la presente investigación es Chocó con minería aluvial de oro, por ser una región con gran presencia de grupos criminales, y además por no contar con oportunidades altas de desarrollar actividades legales con apoyo continuo del estado, lo que incentiva la búsqueda de las mismas de subsistencia ilegal a través de la minería.

Las recomendaciones realizadas en torno a la aplicación de una evaluación semi-cuantitativa de riesgos en minas abandonadas, proporciona un apoyo para la identificación de amenazas y vulnerabilidades de acuerdo con los riesgos asociados a la salud y la seguridad de las comunidades y ecosistemas más vulnerables y próximos a estas áreas pues, aunque existen

diversas metodologías para evaluar riesgos, no se dispone de una que se refiera específicamente a la minería.

En cuanto al desarrollo del trabajo investigativo, se puede decir que se presentaron limitaciones en el acceso a la información, pues por parte de las entidades públicas consultadas (Minminas, UPME y DNP) no se brindó ni se dio respuesta a la información del levantamiento de AMEA solicitada a través de Derechos de Petición, y por parte de la Universidad Nacional de Medellín tampoco se obtuvo el diagnóstico de áreas afectadas por minería que adelantó la misma en los departamentos de Antioquia, Vichada y Guainía, el cual fue solicitado oficialmente a través del Director que desarrolló la investigación y del Grupo de Investigación en Georrecursos, Minería y Medio Ambiente - GEMMA; información que representaba un gran insumo para robustecer esta investigación.

## 7. RECOMENDACIONES

Desde el nivel académico, se recomienda a través de los grupos de investigación aportar en la generación de nuevo conocimiento en temas relacionados con alternativas de intervención y su viabilidad técnica, ambiental y económica, requerimientos de información para realizar una evaluación de riesgos cuantitativa en áreas priorizadas, entre otros, que permita generar una transferencia de conocimientos entre la academia y el sector público. De igual manera, se recomienda involucrar a más Universidades del país con departamentos/áreas que tengan conocimiento en gestión ambiental y de riesgos en el levantamiento de la información base para diagnosticar las AMEA.

Se hace necesario que la información generada no solo por las entidades públicas sino también por la academia sea de acceso público, con el fin de apoyar y articular los procesos de construcción de los instrumentos técnicos, económicos e institucionales que permitan generar conocimiento conjunto por parte de las diferentes instituciones implicadas en la gestión de las AMEA.

A pesar del gran deterioro ambiental causado por las minas abandonadas en el país, los avances en materia normativa y de instrumentos técnicos, financieros e institucionales asociados a la gestión integral de estos sitios, se han visto rezagados. Por ello, se requiere de manera urgente de la articulación del Gobierno e instituciones del sector minero, ambiental y de gestión del riesgo de desastres para suplir estos vacíos, y generar una hoja de ruta sobre las acciones que se requieren para la identificación, evaluación, priorización, intervención y financiamiento de estas áreas.

Aunado a lo anterior, y con el propósito de prevenir la generación de estas áreas a las que sus efectos los terminan asumiendo, al menos en principio, las comunidades más vulnerables y próximas al escenario, es indispensable continuar con el fortalecimiento de las entidades de control, fiscalización y supervisión de la actividad minera, de los instrumentos que controlan la explotación ilícita y de la cooperación y coordinación interinstitucional.

De igual manera, se recomienda involucrar a los actores territoriales, como son gobernaciones, alcaldías y comunidades en la gestión que realiza la institucionalidad ambiental y minera, ya que al estar articulados todos los niveles, no solo se puede fortalecer la estrategia para

la prevención de minería ilícita, sino también agilizar y robustecer el ejercicio para la identificación, evaluación, priorización e intervención de estas áreas.

## Referencias

- Aduvire, Osvaldo (2006). *Generación de ácido de mina. Generación y tratamiento*. Instituto Geológico y Minero de España. Dirección de Recursos Minerales y Geoambiente. Madrid, España.
- Agencia Nacional Minera - ANM (2015). *Cartilla Minería. Preguntas frecuentes*. Agencia Nacional Minera y Unidad de Restitución de Tierras. Bogotá D.C. Colombia.
- AQUAVIVA (2016). *Guía metodológica y protocolo de implementación para la evaluación preliminar de riesgos en sitios de áreas con sospecha de pasivos ambientales, considerados como potenciales generadores de impactos ambientales no atendidos oportunamente*. Instrumento Técnico No. 2 del diseño de instrumentos técnicos para la gestión de los pasivos ambientales en Colombia. pp 1 – 49.
- Arango, Marcela (2012). *Problemática de los pasivos ambientales mineros en Colombia*. Gestión y Ambiente. Volumen 15 - No. 3, Medellín ISSN 0124.177X. pp 125-133.
- Autoridad Nacional del Agua (2011). *Protocolo de Monitoreo de calidad de los recursos hídricos*. Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, pp 1-34. Perú. Obtenido de: [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/2011-protocolo-anaperu.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/2011-protocolo-anaperu.pdf)
- Cabrera Leal, M., y Ordoñez Potes, M. (2019) Avances institucionales y normativos para la gestión integral de pasivos ambientales mineros. Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL.
- Castellanos, H., López, G., Pino, M., Pulido, Y., Reyes, O., Rodríguez, M., Torres, R. (2017). *Informe sobre el estado de los Recursos Naturales y del Ambiente*, 1–193.
- Chaparro E. y Oblasser A. (2008). *Estudio comparativo de la gestión de los pasivos ambientales mineros en Bolivia, Chile, Perú y Estados Unidos*. División de recursos naturales e infraestructura. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile.
- Constitución Política de Colombia de 1991. República de Colombia.
- Contraloría General de la República – CGR (2017). *Informe sobre el estado de los recursos naturales y del ambiente 2016 – 2017*. Bogotá D.C. Colombia.
- Contraloría General de la República - CGR, Ministerio de Minas y Energía - Minminas, Agencia Nacional de Minería - ANM, Ministerio del Interior - Mininterior, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – Minambiente (2018). *Sentencia T445 del 2016. Investigación científica y sociológica respecto a los impactos de la actividad minera en los ecosistemas del territorio colombiano. FASE 3 - Diagnóstico de la información ambiental y social respecto a la actividad minera y la extracción ilícita en el territorio colombiano*. p 410.
- Davies-Colley, R.J., C.W. Hickey, J.M. Quinn & P.A. Ryan (1992). *Effects of clay discharges on streams*. *Hydrobiologia*, 248: 215-234.
- Decreto 2811 de 1974. *Código de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente*. República de Colombia.

- Decreto 1076 de 2015. *Decreto Único Reglamentario Sector Ambiente*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá D.C. Colombia.
- Escuela Europea de Excelencia (2020). *Evaluación del riesgo cuantitativa vs cualitativa: ¿cuál escoger?* Obtenido de <https://www.escuelaeuropeaexcelencia.com/2020/11/evaluacion-del-riesgo-cuantitativa-vs-cualitativa-cual-escoger/#:~:text=Evaluaci%C3%B3n%20del%20riesgo%20cualitativa.capacidad%20para%20alcanzar%20un%20objetivo.>
- ESRI (2017). Minería ilegal en Colombia. Los impactos socioambientales en el pacífico, producto del abuso de la extracción de minerales. Obtenido de: <https://www.arcgis.com/apps/Cascade/index.html?appid=67a3505583f243d898d12a856d2c9652>
- Galán Huertos, Emilio y Romero Baena, Antonio (2008). *Contaminación de Suelos por Metales Pesados*. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Facultad de Química. Apartado 553. Universidad de Sevilla. Sevilla 41071.
- González Fernández, O., Queralt, I., García, G., y Candela, L. (2008). *Lixiviación de metales de sedimentos mineros hacia el medio hídrico en el distrito minero de Cartagena-La Unión (Murcia)*. ISSN: 1567-5172, p 4. España.
- Güiza, Leonardo (2013). *La pequeña minería en Colombia: una actividad no tan pequeña*. Dyna, vol. 80, núm. 181, septiembre-octubre, 2013, pp. 109-117 Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- INNOVA S.A.S. y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Minambiente (2015). *Diseño de una estrategia integral para la gestión de Pasivos Ambientales en Colombia*. Contrato de Consultoría No 374 de 2015.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – DEAM (2018). *Estudio Nacional del Agua*. Bogotá D.C. Colombia.
- Intergovernmental Science Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services - IPBES (2019a). *Diagnóstico de la información ambiental y social respecto a la actividad minera y la extracción ilícita de minerales en el territorio colombiano*. Sentencia T 445 de agosto de 2016. Investigación científica y sociológica respecto a los impactos de la actividad minera en los ecosistemas del territorio colombiano.
- Intergovernmental Science Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services - IPBES (2019b). *Identificación y análisis de impactos de la actividad minerales y la explotación ilícita de minerales en los ecosistemas del territorio colombiano*. Sentencia T 445 de agosto de 2016. Investigación científica y sociológica respecto a los impactos de la actividad minera en los ecosistemas del territorio colombiano.
- Ley 99 de 1993. *Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables y se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA*. Congreso de Colombia. Bogotá D.C. Colombia.
- Ley 685 de 2001. *Código de Minas*. Congreso de Colombia. Bogotá D.C. Colombia.

- Ley 1333 del 2009. *Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones.* Congreso de la República.
- Ley 1523 de 2009. *Adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.* Congreso de Colombia. Bogotá D.C. Colombia.
- López, L., López, M., & Medina, G. (2017). *La prevención y mitigación de los riesgos de los pasivos ambientales mineros (PAM) en Colombia: una propuesta metodológica.* Entramado, Vol. 13 No. 1 (78-91). Obtenido de <https://doi.org/10.18041/entramado.2017v13n1.25138>
- Martínez, Astrid (2012). *Impacto socioeconómico de la minería en Colombia.* Informe para el sector de minería a gran escala. Fedesarrollo. Centro de Investigación Económica y Social. Bogotá D.C. Colombia.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018). *Criterios a tener en cuenta en la priorización de los pasivos ambientales a ser intervenidos en todo el territorio nacional.* Producto 1 del Contrato de consultoría número 578 del 2018. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - MAVDT (2007). *Manual Técnico para la ejecución de análisis de riesgos para sitios de distribución de derivados de hidrocarburos, pp 1-101.* Bogotá, Colombia. Obtenido de: <http://ambientebogota.gov.co/documents/24732/3987885/MANUAL+TECNICO+-+EJECUCION+DE+ANALISIS+DE+RIESGOS.pdf>
- Ministerio de Minas y Energía – Minminas (2012). *Censo Minero Departamental 2010 – 2011.* Bogotá D.C. Colombia.
- Ministerio de Minas y Energía - Minminas (2016). *Política Minera de Colombia. Bases para laminería del futuro.* Bogotá D.C. Colombia.
- Ministerio de Minas y Energía – Minminas (2019). *Análisis del comportamiento del PIB minero 2018.* Dirección de Minería Empresarial. Bogotá D.C. Colombia.
- Ministerio de Minas y Energía – Minminas y Ministerio del Medio Ambiente – Minambiente (2002). *Guía minero ambiental de explotación.* p 34. Bogotá D.C. Colombia.
- Ministerio del Ambiente (2015). *Guía para la elaboración de estudios de evaluación de riesgos a la salud y el ambiente (ERSA) en sitios contaminados.* Lima, Perú.
- Naivares Ocampo R. (2018). *Evaluación de riesgos semi-cuantitativa de E.coli O157:H7 en alimentos para alimentación colectiva en Perú.* Trabajo de fin de máster universitario en gestión de la seguridad y calidad alimentaria. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- NTC - ISO 31000:2011. *Gestión del riesgo. Principios y directrices.* Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Bogotá D.C. Colombia.
- Proyecto de Ley 056 del 2018. *Por medio de la cual se establecen mecanismos para la gestión de pasivos ambientales en Colombia y se dictan otras disposiciones.* Congreso de la República de Colombia.

- Proyecto Multinacional Andino (2007). *Movimientos en Masa en la Región Andina: una guía para la evaluación de amenazas*. Publicación Geológica Multinacional No. 4. Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA-GCA).
- Rodríguez Heredia, Dunia. (2017). *Intoxicación ocupacional por metales pesados*. MEDISAN, 21(12), 3372-3385. Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1029-30192017001200012&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30192017001200012&lng=es&tlng=es).
- Ruiz Rivera, N. (2011). *La definición y medición de la vulnerabilidad social. Un enfoque normativo*. ISSN 2448-7279. Revista Scielo. Investigaciones Geográficas no.77. Ciudad de México.
- Sánchez, Juan Camilo y Vanegas, Paola (2015). *Oro ilegal, alternativa criminal*. Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de relaciones internacionales, estrategia y seguridad. Monografía opción de grado, pp 1 – 76. Bogotá, Colombia.
- Semana Sostenible (2010). *La maldición del oro*. Valle del Cauca. Obtenido de: <https://www.semana.com/nacion/articulo/la-maldicion-del-oro/115074-3/>
- Servicio Nacional de Geología y Minería - SERNAGEOMIN (2014). *Guía metodológica de evaluación de riesgos para el cierre de faenas mineras*. Providencia, Santiago de Chile.
- Servicio Nacional de Geología y Minería - SERNAGEOMIN (2021). *Preguntas frecuentes sobre relaves*. Chile.
- Sistema de Información Ambiental de Colombia – SIAC (2020). *Registro Único de Ecosistemas y Áreas Ambientales*.
- Unidad de Planeación Minero Energética - UPME (2017). *Áreas mineras en estado de abandono – AMEAs*. Subdirección de Minería. Unidad de Planeación Minero Energética – UPME. Sistema de Información Minero de Colombia – SIMCO.
- Universidad Industrial de Santander – UIS y el Ministerio de Minas y Energía – Minminas (2014). *Estudio diagnóstico de las áreas afectadas por actividades mineras en estado de abandono de algunos de los municipios de los departamentos de Chocó, Santander y Valle del Cauca*. Bogotá D.C. Colombia.
- Universidad Nacional de Colombia- UNAL IDEA y Minminas (2014). *Metodología para la intervención de áreas afectadas por actividades mineras en estado de abandono en Colombia*. Bogotá D.C. Colombia.
- Universidad Nacional de Medellín - UNAL, Ministerio de Minas y Energía – Minminas, Departamento Nacional de Planeación – DNP y Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional - USAID (2018). *Estudio diagnóstico de las áreas afectadas por actividades mineras en estado de abandono de algunos de los municipios de los departamentos de Antioquia, Vichada y Guainía*. Medellín, Colombia.
- UNODC - Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (2016). *Explotación de oro de aluvión*. Bogotá: UNODC. Obtenido de [https://www.unodc.org/documents/colombia/2016/junio/Explotacion\\_de\\_Oro\\_de\\_Aluvion.pdf](https://www.unodc.org/documents/colombia/2016/junio/Explotacion_de_Oro_de_Aluvion.pdf)

- UNODC - Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (2013). *Caracterización Regional de la problemática asociada a las drogas ilícitas en el departamento de Chocó*. Convenio 229 de 2013 suscrito entre UNODC y el Ministerio de Justicia y del Derecho. Obtenido de: <http://www.odc.gov.co/Portals/1/politica-regional/Docs/2015/RE06092015-choco.pdf>
- Vargas, Richard (2010). *Guía municipal para la gestión del riesgo*. Proyecto de asistencia técnica en gestión del riesgo a nivel municipal y departamental en Colombia. Banco Mundial – Programa de Reducción de la Vulnerabilidad Fiscal del Estado frente a Desastres Naturales, Ministerio del Interior y Justicia – Dirección de Gestión del Riesgo, Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres. Bogotá, Colombia.
- Vidalón, José (2017). *Riesgos de los pasivos ambientales mineros*. Revista Seguridad Minera. Edición 124.
- Worrall A, Neil, D., Brereton D. & Mulligan, D., (2009). *Towards a sustainability criteria and indicators framework for legacy mine*. Journal of Cleaner Production 17, 1426–1434.