



Modelo metodológico de gestión ambiental para la identificación de un potencial pasivo ambiental minero en Colombia

Franzy Lorena Velandia Vásquez

Universidad EAN
Facultad de Ingeniería
Maestría en proyectos de desarrollo sostenible
Bogotá, Colombia
05/11/2024

Modelo metodológico de gestión ambiental para la identificación de un potencial pasivo ambiental minero en Colombia

Franzy Lorena Velandia Vásquez

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Magister en Proyectos de Desarrollo Sostenible

Director (a):

Lina María Chacón Rivera

Modalidad:

Monografía

Universidad EAN

Facultad de Ingeniería

Maestría en proyectos de desarrollo sostenible

Bogotá, Colombia

05/11/2024

Nota de aceptación:

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del director del trabajo de grado

Bogotá, 05/11/2024

Resumen

Los pasivos ambientales en Colombia, de acuerdo a la definición establecida en la ley 2327 de 2023 se definen como afectaciones ambientales que generan un riesgo no aceptable a la vida, la salud humana o el ambiente (Congreso de la República de Colombia, 2023). En el contexto minero, los pasivos ambientales se refieren a zonas intervenidas con vestigios, estructuras remanentes, residuos, entre otros, que quedan tras la ejecución de actividades en cualquier etapa inherente a la minería, entre las que se encuentran: la prospección, exploración, desarrollo y construcción, producción y cierre (Paganini, 2022), las cuales, si no son gestionadas adecuadamente, pueden generar potencialmente riesgos a nivel ecológico y social.

Actualmente, la falta de una normativa específica para la identificación y gestión de áreas que representan un riesgo ambiental, particularmente en zonas de gran importancia para actividades de desarrollo urbano, agrícolas y forestales que coexisten con la minería, resalta la necesidad de desarrollar un modelo metodológico específico que permita la identificación y gestión adecuada de estas áreas, que una vez intervenidas no tuvieron un adecuado cierre y abandono en términos de estabilización del ecosistema o para permitirles un uso sostenible post minería.

En este sentido, es necesario realizar una clasificación de las áreas que potencialmente se encuentren afectadas, implementando un método de análisis de vulnerabilidad ambiental para determinar si un área intervenida cumple con la definición de pasivo ambiental, enfocando esta investigación a una fase de interpretación de criterios, generando así la formulación de la ruta que permita concluir cuáles son los componentes que se ven afectados en la configuración de un potencial pasivo ambiental minero y como llegar a esta información.

De esta manera, al partir de un enfoque descriptivo, se propondrá un modelo metodológico para identificar los pasivos ambientales mineros en Colombia, abordando su identificación y continuando con la caracterización, permitiendo interpretar los datos obtenidos. Además, se incluirá una revisión de la normativa minera vigente en Colombia y en otros países de América Latina en relación con la gestión de pasivos ambientales mineros, para conocer el contexto aplicable a esta ruta.

De este modo, las opiniones aquí planteadas buscan establecer una línea base de referencia que impulse mejores prácticas de gestión ambiental en el sector minero y/o a nivel interinstitucional en las diversas regiones del país en cuanto a pasivos ambientales mineros.

Palabras clave: Gestión ambiental, minería, pasivos ambientales, ruta metodológica.

Abstract

Environmental liabilities in Colombia, as defined by Law 2327 of 2023, refer to environmental impacts that pose an unacceptable risk to life, human health, or the environment (Congress of the Republic of Colombia, 2023). In the mining context, environmental liabilities are associated with intervened areas containing remnants, residual structures, waste, and other elements left behind after activities conducted at any stage inherent to mining, including prospecting, exploration, development and construction, production, and closure (Paganini, 2022). If not properly managed, these liabilities can potentially generate ecological and social risks.

Currently, the lack of specific regulations for identifying and managing areas that present an environmental risk, particularly in zones critical to urban development, agriculture, and forestry activities that coexist with mining, underscores the need for a specific methodological model. Such a model would enable the proper identification and management of these areas, which, once intervened, did not undergo adequate closure and abandonment processes to stabilize ecosystems or facilitate sustainable post-mining use.

In this context, it is essential to classify areas that may potentially be affected by implementing a method for environmental vulnerability analysis. This will establish the risk level of an intervened area, aligning it with the definition of an environmental liability. The research focuses on interpreting criteria to formulate a pathway that identifies the components impacted in the configuration of a potential mining-related environmental liability and determines how to access this information.

Thus, starting from a descriptive approach, a methodological model will be proposed to identify mining environmental liabilities in Colombia. This model will address their identification, followed by characterization, allowing for the interpretation of the obtained data. Additionally, it will include a review of current mining regulations in Colombia and other Latin American countries regarding the management of mining environmental liabilities to understand the applicable context for this pathway.

The perspectives presented aim to establish a baseline reference to promote better environmental management practices within the mining sector and/or inter-institutionally across various regions of the country concerning mining environmental liabilities.

Keywords: Environmental management, mining, environmental liabilities, methodological pathway.

Contenido

Resumen	6
Abstract	8
Objetivos	14
<i>Objetivo general</i>	14
<i>Objetivos específicos</i>	14
Justificación	15
Marco Teórico	17
<i>Contexto de la Minería</i>	17
<i>Marco normativo y legal</i>	24
<i>Pasivos ambientales mineros en LATAM</i>	27
<i>Principales pasivos ambientales producto de la actividad minera y sus consecuencias</i>	31
Hipótesis	33
Variables	37
Metodología	41
Trabajo de campo	43
<i>Ruta metodológica de identificación de un potencial pasivo ambiental en el territorio colombiano</i> ...	43
Fase I: Identificación de AMEA y/o proyectos mineros sin la adecuada restauración del área para uso post minería	44
Fase II: Revisión de antecedentes	44
FASE III: Clasificación de antecedentes	45

Fase IV: Georreferenciación y mapeo de áreas identificadas	46
Fase V: Formulación de ficha de caracterización de las zonas identificadas.....	48
Fase VI: Caracterización de los componentes identificados en áreas objeto de diligenciamiento de la ficha	48
Fase VII: Cálculo del índice de vulnerabilidad	53
FASE VIII: Identificación del grado de riesgo	62
<i>Validación del modelo en un caso de estudio</i>	<i>64</i>
Discusión.....	77
Trabajo Futuro	80
Conclusiones	82
Referencias	84
Anexos	89
<i>Anexo 1. Ficha Diagnostica de caracterización de un potencial PAM.</i>	<i>89</i>
<i>Anexo 2. Informe sobre áreas de importancia ambiental dentro del POMCA del Río Bogotá, del punto caso de estudio.....</i>	<i>89</i>
<i>Anexo 3. Formulario diligenciado con la caracterización de los componentes ambientales del caso de estudio.....</i>	<i>89</i>

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1	18
Figura 2	25
Figura 3	30
Figura 4	43
Figura 5	47
Figura 6	53
Figura 7	65
Figura 8	66
Figura 9	67
Figura 10	67
Figura 11	70

Lista de Tablas

<i>Tabla 1</i>	26
<i>Tabla 2</i>	31
<i>Tabla 3</i>	32
<i>Tabla 4</i>	37
<i>Tabla 5</i>	38
<i>Tabla 6</i>	39
<i>Tabla 7</i>	40
<i>Tabla 8</i>	40
<i>Tabla 9</i>	45
<i>Tabla 10</i>	55
<i>Tabla 11</i>	57
<i>Tabla 12</i>	58
<i>Tabla 13</i>	60
<i>Tabla 14</i>	64
<i>Tabla 15</i>	68
<i>Tabla 16</i>	74

Introducción

La minería en Colombia, constituye un tema de considerable complejidad que involucra diversos aspectos técnicos, legales y ambientales. La extracción de recursos minerales ha generado debates significativos en torno a su impacto en la sostenibilidad ambiental regional, por sus métodos de extracción y en las diversas actividades que se desarrollan de manera individual o en conjunto, a nivel paisajístico y funcional del ecosistema. La anterior afirmación, se basa en el resultado de actividades mineras que son ejecutadas de una manera antitécnica, ya sea por llevarlas a cabo de manera informal, es decir sin contar con un instrumento de control minero y ambiental, los cuales luego de la expedición de la ley 685 del 2001 son exigidos por parte de las autoridades competentes, con el fin de contar con un instrumento que permita realizar un adecuado seguimiento y control a todas y cada una de las prácticas que refiere el aprovechamiento de recursos minerales (carbón, arcilla, piedras preciosas entre otros) y naturales (agua, flora, etc.), entre otras razones, como la falta de una fiscalización efectiva por parte de las instituciones llamadas a tal fin o las demoras dentro de los procesos administrativos que buscan compensar las irregularidades que producen la mala praxis de los particulares que efectúan la actividad sin ningún control.

En este contexto, desarrollar en Colombia una metodología que permita la gestión de lo que se concebiría como pasivo ambiental minero, desempeña un papel crucial para promover la sostenibilidad en los territorios.

Es importante mencionar que en Colombia, existe un régimen de transición para la actividad minera desde el punto de vista tanto minero como ambiental, que promueve el perfeccionamiento de las prácticas sobre el aprovechamiento de recursos, sin embargo en lo que respecta a las zonas mineras en las que ya no se efectúan actividades, sea que se encuentren abandonadas o no, pero que pueden representar un potencial riesgo para la vida o el ecosistema, actualmente Colombia no cuenta con términos claros para su identificación y/o atención.

A pesar de la expedición de la ley de pasivos ambientales, la cual, mediante su artículo 3 ordena a los Ministerios y las entidades que se consideren necesarias, fijar lineamientos para estructurar una política pública (Congreso de la República de Colombia, 2023), que permita la gestión de estos PAM, a la fecha no se han expedido dichos términos.

La presente monografía tiene como objetivo la formulación de una metodología para la identificación y caracterización de estas áreas, así como de examinar el marco normativo actual relacionado con la minería y las licencias ambientales, para desarrollar apropiadamente un modelo que promueva la adecuada identificación de lo que podría considerarse como potencial pasivo ambiental minero, explorando metodologías a nivel internacional que puedan guiar la evaluación sobre el nivel de riesgo de estas áreas y se acoplen a la actual definición de pasivo ambiental a nivel nacional.

Se espera que los resultados de esta investigación contribuyan al debate informado sobre la gestión de la minería en las regiones y proporcionen recomendaciones prácticas para avanzar hacia un modelo de desarrollo minero más sostenible, sin dejar a un lado lo que esto aportaría a las políticas adoptadas por el gobierno nacional frente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.

Objetivos

Objetivo general

Proponer un modelo metodológico de gestión ambiental que permita la identificación y caracterización de potenciales pasivos ambientales mineros en Colombia.

Objetivos específicos

Analizar la normativa vigente relacionada con la gestión ambiental y los pasivos ambientales mineros en Colombia y en otros países de América Latina, con el fin de tener un marco de referencia aplicable al componente minero.

Presentar los elementos clave que debe contener un modelo metodológico para la identificación de pasivos ambientales mineros en Colombia.

Formular una ficha de diagnóstico para la identificación de potenciales pasivos ambientales mineros.

Presentar un método de valoración de la vulnerabilidad ambiental de las áreas con potenciales pasivos ambientales mineros, para establecer el grado de riesgo que representan.

Validar el modelo metodológico propuesto con un caso de estudio.

Justificación

La realización de este estudio se justifica en base a múltiples criterios que reflejan su pertinencia y utilidad en el contexto de la minería y la sostenibilidad ambiental en Colombia.

Esta investigación contribuye al estudio de proyectos de desarrollo sostenible que apunten al manejo de áreas mineras en escenarios como pasivos ambientales, que puedan identificarse bajo la metodología aquí planteada, enfocándose en la integración de consideraciones ambientales, para el desarrollo de un ejercicio dinámico en atención a la problemática.

Por otra parte, la pertinencia de evaluar la normativa minero-ambiental colombiana es fundamental, dada la variación a lo largo del tiempo de los instrumentos que regulan esta materia como lo son las licencias ambientales y los contratos de concesión minera.

Adicionalmente se hace relevante exponer el tema, teniendo en cuenta que, dentro de la acción popular en la que se encuentra inmersa la Sabana de Bogotá desde el año 2014 con la Sentencia del Río Bogotá AP-25000-23-27-000-2001-90479-01, se dictan una serie de ordenanzas condenando a todos los habitantes de la Cuenca del Río Bogotá, debido a la contaminación proveniente de las actividades antropogénicas que producen distintos impactos en el aire, el suelo y el recurso hídrico y que no han recibido un manejo correcto con el fin de prevenir y mitigar el impacto. A partir de las consecuencias causadas sobre la cuenca, en especial en lo que respecta a los pasivos ambientales mineros, se establece la orden 4.26 Numeral 4 que dicta lo siguiente:

[...]JORDÉNASE al Distrito Capital y a la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR en su respectiva jurisdicción y en coordinación con el Ministerio de Minas y Energía, que en el término perentorio e improrrogable de nueve (9) meses contados a partir de la expedición del acto administrativo referido, realice el inventario de Pasivos Ambientales Mineros –PAM con el objeto de adelantar los procesos administrativos y judiciales correspondientes.

Por motivo de esta orden, actualmente el Ministerio de Medio Ambiente se encuentra realizando mesas técnicas con el fin de formular el procedimiento metodológico aplicable para la formalización de lo que reglamenta la Ley 2327 de 2023 desde el ámbito de la minería y en las cuales el autor de esta monografía se encuentra como participante activo.

Adicional a lo anterior, desarrollar esta investigación permite, de forma ideal, aportar información relevante para la evaluación de la vulnerabilidad ambiental que puede presentar las áreas impactadas una vez identificadas y caracterizadas, con el fin de que pueda llegar a constituirse como una herramienta de gestión ambiental para la toma de decisiones respecto de actividades de mitigación del riesgo que tiendan al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, entre estos se pueden mencionar los siguientes:

ODS 6: Agua limpia y saneamiento

Se enfatiza en la identificación y evaluación de impactos ambientales desde la figura de pasivos ambientales mineros, identificando potenciales impactos a nivel de contaminación del recurso hídrico, buscando informar al lector sobre el resultado de una mala gestión de las actividades mineras sobre este recurso, para en un trabajo futuro generar estrategias de recuperación y/o descontaminación.

ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles

La identificación y caracterización de los pasivos ambientales mineros, ayudarían a crear conciencia sobre la importancia del mantenimiento de entornos urbanos y rurales más saludables y seguros, promoviendo la rehabilitación de áreas, haciéndose crucial para transformar los paisajes degradados en espacios habitables y productivos en contribución al desarrollo de comunidades sostenibles.

ODS 13: Acción por el clima

Al abordar la gestión de pasivos ambientales mineros, desde su identificación hasta la evaluación de impactos, para conocer la categoría de riesgo con base en su grado de vulnerabilidad, potencialmente podría constituir en una fase posterior, estrategias de restauración que mitiguen por ejemplo emisiones de gases de efecto invernadero y promuevan la adaptación al cambio climático, aportando a los esfuerzos globales contra el cambio climático.

ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres

La investigación, por otra parte, resalta la importancia de identificar y caracterizar estas áreas para posteriormente formular estrategias de restauración de los ecosistemas afectados por efecto de la minería, buscando promover la biodiversidad y los hábitats naturales, incentivando el cuidado y uso sostenible del ecosistema a nivel nacional.

Marco Teórico

En Colombia, la minería representa un sector de gran relevancia económica, contribuyendo significativamente al Producto Interno Bruto (PIB) (ACM, 2020) y generando una importante capacidad de empleabilidad. Sin embargo, la explotación minera también ha provocado una serie de problemáticas que afectan el desarrollo territorial, tanto por la falta de cumplimiento de las obligaciones contractuales incorporadas en los actos administrativos que otorgan el contrato de concesión minera y la licencia ambiental, como por la falta de seguimiento y control por parte de las entidades fiscalizadoras de los proyectos, además de la falta de adopción de los respectivos planes de ordenamiento territorial, que establecen cuales son las áreas compatibles con esta actividad al interior de los municipios, evitando de cierta manera que estas se lleven a cabo en zonas no compatibles lo que incrementa las afectaciones desde todo ámbito.

Una de las problemáticas más destacadas tiene que ver con la afectación ambiental derivada de la minería informal, la cual impacta directamente a las comunidades locales, ecosistemas y la estabilidad socioeconómica de las regiones. En este contexto, es necesario entender las implicaciones ambientales de las actividades mineras, que, cuando no son ejecutadas bajo normativas técnicas y ambientales adecuadas, generan lo que se conoce como pasivos ambientales mineros.

Contexto de la Minería

El subsuelo de Colombia alberga una variedad de recursos minerales que la naturaleza ha proporcionado a esta región a lo largo del tiempo. Estos recursos son el producto de procesos geológicos, geofísicos y geoquímicos, que, combinados con las fluctuantes condiciones climáticas experimentadas durante millones de años, han influido en la configuración del paisaje y en la formación de los depósitos minerales que se encuentran en el país (SGC, 2019).

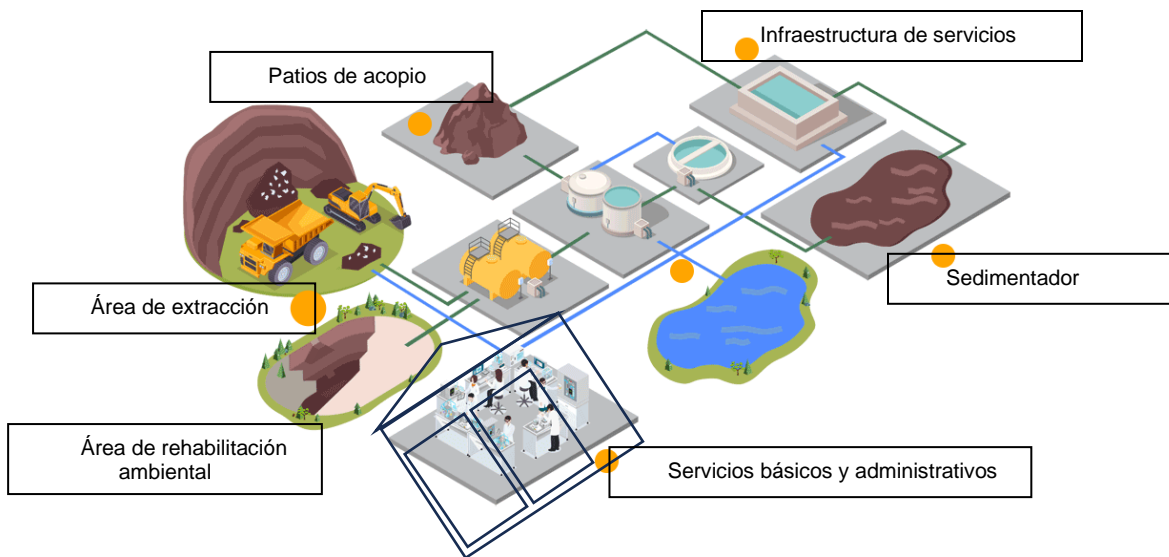
La minería es comprendida como un proceso de aprovechamiento de recursos minerales que se subdivide en varias etapas que van desde la prospección, hasta el transporte del mineral. Se realiza mediante el uso de técnicas tanto manuales, como mecanizadas para extracción del material, el cual luego es sometido a un proceso de transformación, para finalmente ser aprovechado en diversos procesos como la construcción, la industria química, la producción de vidrio, entre otros.

De acuerdo al mineral a explotar y teniendo en cuenta otra serie de aspectos determinantes para llevar a cabo la actividad minera, se requiere de una serie de equipamientos que son indispensables para garantizar la seguridad y salud de los trabajadores, así como para dar cumplimiento a las obligaciones que se establecen por ley desde el componente minero y ambiental.

De forma generalizada, las instalaciones o secciones que se requieren para efectuar los proyectos mineros y las cuales varían de acuerdo al caso particular, se encuentran: el área de extracción, planta de procesamiento, infraestructura de transporte, servicios básicos, infraestructura de seguridad, e infraestructura para el cierre y rehabilitación ambiental, como se muestra en la figura 1.

Figura 1

Estructura organizacional de proyectos mineros.



Nota. Distribución gráfica de las secciones que comprende de manera general un proyecto minero, modificada por el autor, a partir de la información recuperada de: Reactivos y Equipos de Monterrey. (s. f.). *Diagrama de procesos en minería* [Imagen]. Reactivos y Equipos de Monterrey.

<https://www.reactivosyequipos.com.mx/industrias/mineria>

Al comprender de manera esquemática la distribución general de lo que comprende un complejo minero, podría entenderse cuál es el contexto en el que se desarrolla.

En este sentido, los impactos ambientales asociados a la minería son diversos y, dependiendo de factores como el tipo de minería, el mineral extraído y la técnica utilizada, estos efectos pueden variar considerablemente. En términos generales, si la actividad no se efectúa de una manera técnica y sostenible, puede llegar a tener repercusiones negativas tanto en los ecosistemas naturales como en la salud humana, que a menudo se agravan si no se manejan adecuadamente. Algunas de estas repercusiones podrían impactar diversos componentes del sistema natural, entre los que se encuentran:

1. Contaminación del Agua

Uno de los problemas más comunes es el drenaje ácido de minas, que ocurre cuando minerales sulfurados, como la piritita, entran en contacto con el aire y el agua, generando ácido sulfúrico. Este ácido puede arrastrar metales pesados como plomo, arsénico y mercurio, contaminando ríos y acuíferos cercanos. Los efectos de la contaminación son devastadores para los ecosistemas acuáticos y representan un riesgo para la salud humana y la fauna, que depende del agua para su supervivencia. Entre algunos efectos se pueden encontrar:

Acidificación del agua:

El ácido sulfúrico generado reduce el pH del agua, creando un ambiente ácido que puede ser letal para muchas formas de vida acuática.

La acidificación afecta la capacidad de los ecosistemas para mantener poblaciones equilibradas de flora y fauna.

Liberación y movilización de metales pesados:

Metales como el plomo, arsénico, cadmio y mercurio se liberan y se disuelven en el agua, generando un ambiente tóxico para los organismos acuáticos, lo cual puede causar enfermedades, alteraciones reproductivas y mortalidad de las especies.

Pérdida de biodiversidad:

Los organismos sensibles al cambio de pH y a la toxicidad del agua pueden desaparecer, lo que reduce la biodiversidad y altera las cadenas alimentarias. De esta forma, las especies pueden extinguirse, afectando la dinámica del ecosistema.

Contaminación de acuíferos y cuerpos de agua subterránea:

El daño a los acuíferos suele ser irreversible y de largo plazo. Además, si los contaminantes se infiltran en fuentes de agua potable y son consumidos, la situación se vuelve aún más crítica para la salud pública.

Bioacumulación en organismos:

Los metales pesados pueden acumularse en organismos acuáticos y pasar a la cadena alimentaria, afectando a los consumidores de pescado contaminado.

Impactos socioeconómicos:

La contaminación de fuentes de agua potable y para riego puede afectar la agricultura, la pesca y el abastecimiento de agua para comunidades locales. Además, los costos de limpieza y mitigación suelen ser elevados y de largo plazo.

Otro problema es la sedimentación, causada por el movimiento de tierras durante la ejecución de la actividad minera, la cual tiene efectos negativos significativos en los cuerpos de agua debido al exceso de partículas suspendidas que ingresan al sistema acuático. Este fenómeno ocurre porque la remoción de la capa superficial del suelo, dejando expuestas grandes áreas de tierra, facilitando que la lluvia y el flujo de agua arrastren sedimentos hacia ríos, lagos y otros cuerpos hídricos.

Algunos de los efectos sobre la calidad del agua, son:

Turbidez:

Aumento de la turbidez del agua, lo que disminuye la penetración de la luz solar. Esto afecta la fotosíntesis de las plantas acuáticas y el desarrollo de fitoplancton, una base crucial en la cadena alimentaria acuática.

Daño a los hábitats acuáticos:

El exceso de sedimentos puede cubrir los lechos de ríos y lagos, donde muchos organismos, como peces y macroinvertebrados se refugian. Esto destruye los microhábitats necesarios para su supervivencia. Pueden sofocar los arrecifes de coral y otros ecosistemas sensibles, interrumpiendo los ciclos biológicos y ecológicos.

Reducción de la biodiversidad:

La acumulación de sedimentos en los cuerpos de agua dificulta el acceso al oxígeno para muchas especies acuáticas, lo que puede provocar la asfixia y muerte de organismos sensibles.

Los cambios en el hábitat reducen la diversidad de especies al favorecer únicamente a aquellas capaces de adaptarse a estas condiciones turbias y de baja calidad.

Alteraciones en el flujo de agua:

La sedimentación excesiva puede cambiar los cursos de ríos, aumentar el riesgo de inundaciones y reducir la capacidad de almacenamiento de los embalses, afectando la gestión del agua.

2. Contaminación del Aire

Las actividades mineras también son una fuente importante de contaminación del aire. La emisión de polvo mineral es una de las consecuencias más inmediatas, ya que las máquinas que operan en las minas, levantan partículas finas de minerales que contienen potencialmente metales pesados. Esta exposición al polvo es perjudicial para la salud respiratoria de los trabajadores y las comunidades cercanas si no se tienen barreras que mitiguen la dispersión de estas partículas.

Además, el uso de maquinaria pesada en las minas genera emisiones de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO₂), que debido a su desbalance en la atmósfera genera problemas de calentamiento global contribuyendo al cambio climático. Así mismo, contaminantes criterio como los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los óxidos de azufre (SO_x) que, en combinación con el agua presente en la atmósfera, causan lluvia ácida. Además, los NO_x en presencia de la luz, se descomponen formando ozono troposférico, un gas oxidante fuerte. Todos estos efectos combinados agravan la degradación ambiental afectando los suelos, las fuentes hídricas y la vegetación.

3. Destrucción de hábitats y pérdida de biodiversidad

La minería, especialmente la minería a cielo abierto, implica la remoción de grandes cantidades de tierra y vegetación, lo que provoca la destrucción de hábitats naturales. Esto no solo elimina zonas vitales para muchas especies de flora y fauna, sino que también fragmenta los ecosistemas, lo que puede aislar a las especies y dificultar su supervivencia. La deforestación es un ejemplo

claro de este impacto, por ejemplo, en regiones como la Amazonía, la degradación de los bosques son problemas críticos que enfrentan los países de la región, contribuyendo significativamente a la pérdida de hábitats naturales. En Colombia, la Amazonía ha experimentado una reducción del 5% en su vegetación forestal nativa entre 1985 y 2022, lo que equivale a una pérdida neta de 2,7 millones de hectáreas (por actividades como la minería ilegal, agricultura intensiva entre otros). Según un informe de Mongabay en 2017, más de 2.600 especies en Colombia están amenazadas por la deforestación, con la Amazonía siendo una de las regiones más afectadas, entre las que se encuentran: el Jaguar (*Panthera onca*), el delfín del Amazonas (*Inia geoffrensis*), por la degradación de los ecosistemas acuáticos y la deforestación de las riberas que afectan su supervivencia, el mono churuco (*Lagothrix lagotricha*) y el águila harpía (*Harpia harpyja*).

En cuanto a la flora, la tala indiscriminada ha puesto en riesgo a numerosas especies de árboles y plantas endémicas de la región, esenciales para el equilibrio ecológico y la subsistencia de comunidades locales.

La pérdida de estos hábitats, tienen consecuencias directas en la biodiversidad local, pues muchas especies dependen de esos ecosistemas para alimentarse y reproducirse. Sin estos, algunas especies podrían desaparecer, alterando el equilibrio ecológico de la zona.

4. Erosión del Suelo y Degradación del Terreno

La minería también provoca erosión del suelo, debido al desplazamiento de grandes volúmenes de tierra. Sin la vegetación que cubría el suelo, las lluvias arrastran fácilmente los sedimentos, lo que puede llevar a una mayor sedimentación en los cuerpos de agua cercanos y a la pérdida de nutrientes en el suelo. Este tipo de degradación del terreno reduce la capacidad del suelo para regenerarse de manera natural, lo que afecta tanto a los ecosistemas como a las actividades agrícolas en las zonas circundantes.

5. Generación de Residuos Peligrosos

En las minas se producen grandes cantidades de residuos, muchos de los cuales son peligrosos. Los estériles (materiales que no contienen minerales valiosos) y los relaves (residuos del proceso de concentración de minerales) suelen contener sustancias tóxicas entre las que se encuentran:

Metales pesados:

Elementos como plomo, mercurio, cadmio y arsénico, que pueden lixiviarse y contaminar suelos y cuerpos de agua cercanos.

Cianuro:

Utilizado en la extracción de ciertos minerales, puede permanecer en los residuos y representar un peligro significativo.

Compuestos sulfurados:

Pueden generar drenaje ácido de minas, aumentando la acidez del agua y facilitando la movilización de otros contaminantes.

Si estos residuos no se gestionan adecuadamente, pueden filtrarse en el suelo y las aguas cercanas, produciendo con seguridad la alteración y/o contaminación de estos recursos. El manejo inadecuado, puede generar graves problemas ambientales ya que los metales pesados y otros compuestos químicos presentes en los residuos pueden contaminar los ecosistemas durante años.

6. Alteración de los Flujos Hídricos

Las actividades mineras también afectan el drenaje natural de las zonas. En algunos proyectos mineros, es necesario desviar ríos o alterar los sistemas de drenaje para facilitar la extracción del mineral. Esto puede modificar el flujo de agua en la región, provocando inundaciones o sequías en áreas cercanas.

Además, la minería subterránea puede modificar los niveles de agua en el subsuelo, afectando acuíferos importantes. La contaminación de estas aguas subterráneas, además de ser difícil de remediar, puede extenderse por grandes áreas y afectar el acceso al agua potable.

7. Riesgos para la Salud Humana

La actividad minera no solo impacta el medio ambiente, sino que también representa serios riesgos para la salud humana. La exposición prolongada a metales pesados y partículas de polvo puede provocar enfermedades respiratorias crónicas y otros trastornos de salud en los trabajadores mineros y en las comunidades cercanas.

Contaminantes como el plomo, el arsénico y el mercurio tienen efectos tóxicos que afectan el sistema nervioso, los riñones y otros órganos, poniendo en peligro la salud de las personas que residen en las proximidades de las zonas mineras.

Marco normativo y legal

En Colombia, si bien es cierto la actividad minera se viene efectuando desde los tiempos de la Colonia, la normatividad minera fue desarrollándose desde la entrada en vigencia de la ley 20 de 1969, estableciendo que los recursos naturales no renovables son propiedad de la nación sin perjuicio de las situaciones jurídicas perfeccionadas en posteriores decretos, bajo las cuales se contemplan las condiciones para explotar los minerales presentes en el subsuelo, sin embargo, desde el componente ambiental, solo hasta la entrada en vigencia del decreto 2811 de 1974 se promueve la obligación de exigir los permisos ambientales que fueran necesarios en marco de la ejecución de las actividades mineras que así lo requirieran.

Posteriormente con la expedición del código de minas 2655 en el año 1988, el cual fue vigente hasta el 2001, se establecía que para las explotaciones mineras existentes y debidamente adjudicadas, la licencia ambiental se encontraba implícita en la figura de concesión minera. Cabe resaltar que muchas de estas figuras se encuentran vigentes al día de hoy y son objeto de seguimiento por parte de las autoridades competentes.

Actualmente, el código de minas publicado bajo la Ley 685 de 2001, menciona que, para llevar a cabo la explotación minera a excepción de la etapa de exploración¹, debe contar con una Licencia Ambiental debidamente otorgada por la autoridad ambiental competente.

Respecto de los impactos ambientales, desde una perspectiva local González en 2018, establece:

[...]la minería informal en la Sabana de Bogotá se ha convertido en un factor crítico de deterioro ambiental debido a la extracción no regulada de minerales y la falta de cumplimiento de normativas minero-ambientales, generando una relación directa con el proceso de degradación del suelo, la contaminación del agua y la pérdida de biodiversidad en la región (p. 45).

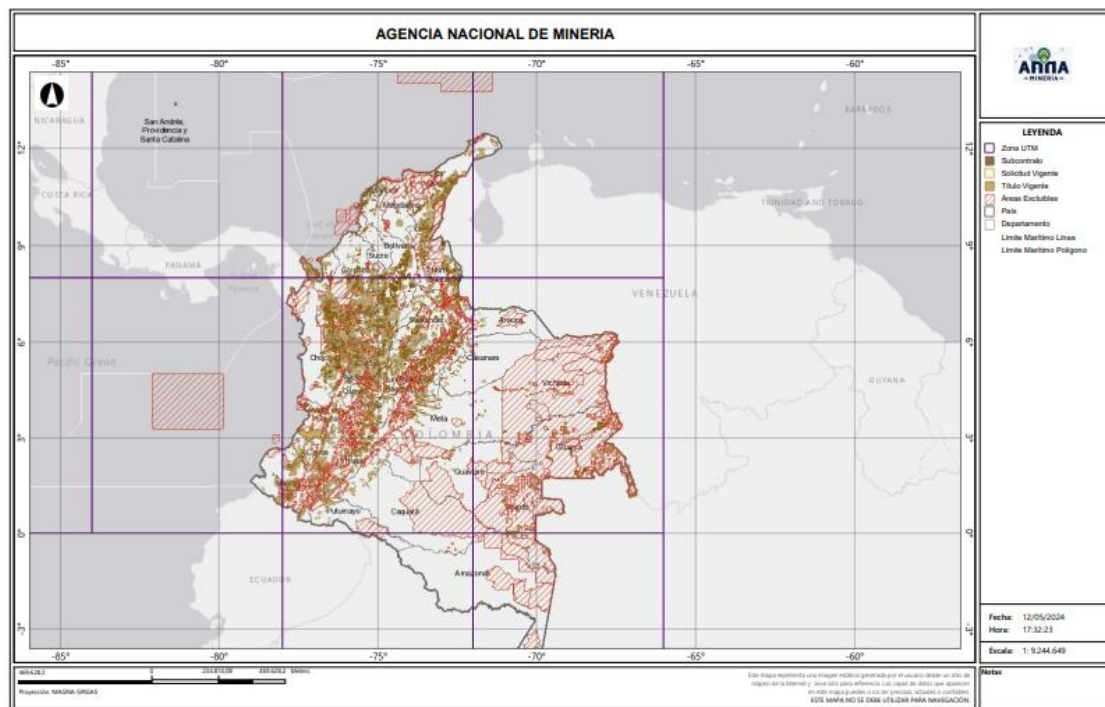
En este sentido, surgen varias preguntas sobre ¿cuál ha sido el comportamiento por parte de los titulares o intervinientes de estos proyectos productivos, si el instrumento de control ambiental y la

¹ A menos que con la exploración de las zonas, se requiriera el uso o aprovechamiento de los recursos naturales.

modalidad del contrato de concesión han venido “perfeccionándose” con arreglo a las normas que expiden las entidades facultadas para tal fin y con ellas el cumplimiento por parte del solicitante de los requisitos establecidos, en concordancia con el tipo de permiso, no solo en Bogotá sino a nivel nacional?, ¿los titulares han realizado un adecuado cierre de los proyectos, una vez culminan sus etapas productivas?, ¿de qué manera, se le ha exigido al particular la respectiva reconfiguración o restauración geomorfológica de las áreas intervenidas, para dejar funcionales a nivel ecológico las mismas?. Así mismo, es necesario establecer cuáles serían los escenarios probables que son potenciales de configurarse como pasivos ambientales de no proceder con un adecuado cierre a nivel de reconfiguración de estas áreas, por lo que mediante la plataforma de ANAMINERÍA de la Agencia Nacional de Minería, se procedió a descargar un mapa con la relación de áreas que actualmente evidencian un título minero asociados o no a contratos de concesión minera, vislumbrando un panorama para el norte y centro del país principalmente, como se muestra en la figura 2.

Figura 2

Distribución espacial de títulos mineros en Colombia, como escenarios potenciales de PAM



Nota. Distribución de los títulos mineros adjudicados en Colombia, los cuales puede que se encuentren o no intervenidos, presentándose como escenarios posibles de configuración de pasivos ambientales en el caso de

no efectuar las debidas actividades de reconfiguración y cierre establecidos por la ley. Sin embargo, pueden existir otras áreas fuera de esos polígonos que, al no encontrarse adjudicados legalmente, se constituyan como ilegales o informales y permitan el desarrollo de escenarios de PAM. Fuente: Agencia Nacional de Minería, recuperado de:

<https://annamineria.anm.gov.co/Html5Viewer/index.html?viewer=SIGMExt&locale=es-CO&appAcronym=sigm>

Así pues, al dirigir la vista hacia el cumplimiento de esta normativa por ejemplo a nivel de Bogotá, siendo esta la capital del país, con una población superior entre Cundinamarca y el Distrito capital de más de 11 millones de habitantes según las proyecciones del reporte del DANE a 2020, desde el año 1994 como se muestra en la tabla 1, se vienen delimitando geográficamente las áreas susceptibles a ser intervenidas para efectos de la actividad minera y con base en ello, las autoridades ambientales, otorgan o niegan las correspondientes licencias ambientales. De igual forma, se han venido declarando áreas de importancia ambiental como los páramos, en los cuales está prohibida la minería².

Tabla 1

Reglamentación de áreas compatibles con la minería en la Sabana de Bogotá

ÁREAS COMPATIBLES CON LA MINERÍA EN LA SABANA DE BOGOTÁ	
Resolución 222	1994
Resolución 1197	2004
Resolución 2001	2016
Resolución 1499	2018

Nota. Esta tabla muestra la relación de normas expedidas en Colombia, para establecer áreas compatibles con la minería en la sabana de Bogotá. Fuente: Autor, tomado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-182X2016000200011

Para entender a que hace referencia el termino de pasivos ambientales a nivel nacional, el Congreso de la Republica mediante la Ley 2327 del 14 de septiembre de 2023, los define como:

² Congreso de Colombia. (2018). Ley 1930 de 2018, por medio de la cual se dictan disposiciones para la gestión integral de los páramos en Colombia.

[...] afectaciones ambientales originadas por actividades antrópicas directa o indirectamente por la mano del hombre, autorizadas o no, acumulativas o no, susceptibles de ser medibles, ubicables y delimitables geográficamente, que generan un nivel de riesgo no aceptable a la vida, la salud humana o al ambiente.

Es importante aclarar que actualmente en Colombia, no se cuenta con una definición tácita de lo que se refiere a pasivo ambiental minero, sin embargo, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca se refiere a estas, como áreas susceptibles de recuperación ambiental o Áreas Mineras en Estado de Abandono o AMEA, caracterizándolo como primer identificador de lo que podría resultar siendo un potencial pasivo ambiental minero. Por otra parte, en una investigación realizada en el 2017 sobre la prevención y mitigación de los riesgos de los pasivos ambientales mineros en Colombia (aún no definidos por ley), el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible procuró definir la condición estudiada como *"impactos ambientales negativos, ubicados y delimitados geográficamente, que no fueron oportuna o adecuadamente mitigados, compensados, corregidos o recuperados; causados por actividades antrópicas y que pueden generar un riesgo a la salud humana o al ambiente"* (Minambiente-Innova, 2015, p. 28).

Pasivos ambientales mineros en LATAM

En Perú, mediante el Art. 2º de la Ley 28271 de 2004, se define como pasivo ambiental minero las instalaciones, efluentes, emisiones, residuos o depósitos generados por actividades mineras que han sido abandonadas o están inactivas y que presentan un peligro constante y potencial para la salud pública, el entorno ecológico y los bienes materiales. Sin embargo, desde el año 1995 a través del proyecto PRODES³, se inicia con la identificación de PAM con base en estudios de evaluación de cuencas hidrográficas expidiendo finalmente la ley que regula la materia en 2004.

Desde la parte cartográfica, los autores Minaya y Gutiérrez en 2022, establecieron una metodología práctica de tipo geoespacial y analítico para la identificación de pasivos ambientales mineros mediante imágenes satelitales en el centro poblado de Secocha, distrito Mariano Nicolás Valcárcel, provincia de Camaná, región Arequipa Perú, realizando correcciones a los datos para aplicar posteriormente un método de clasificación de Máxima Verosimilitud y otros

³ El Programa Pro Descentralización (PRODES), fue una iniciativa de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) que se implementó en Perú a partir de marzo de 2003. Su objetivo principal era fortalecer el proceso de descentralización en el país, apoyando tanto al Gobierno Nacional como a los Gobiernos Regionales y Locales en siete departamentos: Ayacucho, Cusco, Huánuco, Junín, Pasco, San Martín y Ucayali.

procedimientos analíticos para establecer la existencia de pasivos ambientales mineros y obtener una categorización de lo que se evidenciaba en el área.

En Chile, se ha propuesto un proyecto de ley que, fundamentado en los principios establecidos por la Ley 19.300 de 1994, busca regular de manera específica y adecuada la garantía constitucional que asegura a todas las personas el derecho a vivir en un ambiente libre de contaminación. Este proyecto define los pasivos ambientales mineros como aquellas operaciones mineras clausuradas o suspendidas, junto con sus residuos, que representan un riesgo significativo para la vida o la salud de las personas, o para el medio ambiente, según lo declarado por el Servicio Nacional de Geología y Minería.

En otro contexto normativo, existe la política nacional para la gestión de sitios con presencia de contaminantes de 2009, en el cual se establecen lineamientos para la identificación, evaluación, control y remediación de sitios contaminados, con el fin de proteger la salud de las personas y preservar el medio ambiente. Esta política busca además promover la participación ciudadana en los procesos de gestión de sitios contaminados y fomentar la responsabilidad de los distintos actores involucrados en su manejo, ya sean públicos o privados. Posteriormente se incorpora la Ley 20.412 sobre incentivos agrícolas a suelos degradados. Con la Ley N°20.551, promulgada en el año 2012, se establecen las normas para el cierre de faenas mineras y la gestión de pasivos ambientales en el sector minero. Entre sus disposiciones más importantes, están los procedimientos y requisitos que las empresas mineras deben cumplir al momento de cerrar una faena, con el fin de asegurar una adecuada restauración ambiental y la minimización de impactos negativos en las comunidades y el entorno; también establece la obligación de constituir garantías financieras por parte de las empresas mineras, destinadas a cubrir los costos asociados una vez que estas dejen de operar.

En 2013 el Ministerio de Medio Ambiente de Chile, crea la guía metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes, considerando la concentración de mineralización del suelo para su remediación.

Argentina y Brasil, por otra parte, se encuentran actualmente en programas de gestión y gerenciamiento de áreas contaminadas, los cuales buscan a través de los términos de referencia propuestos por cada autoridad ambiental, de manera generalizada: identificar y establecer escenarios de riesgo con el fin de priorizar áreas para acciones de remediación.

Entre las diferentes metodologías para identificación de pasivos ambientales mineros en Chile, Perú, Argentina, Colombia y Brasil se hace mención a la importancia de definir el riesgo asociado a estas áreas y la caracterización de sitios contaminados. Sin embargo, a pesar de estos esfuerzos, persisten desafíos en la implementación y supervisión de las regulaciones a nivel local, debido a limitaciones en recursos humanos y técnicos, así como posibles conflictos de interés entre las autoridades regulatorias y la industria minera.

En general, las metodologías utilizadas para identificar pasivos ambientales deben incluir estudios detallados de línea base y evaluaciones de riesgos, garantizando que estos estudios sean representativos, además de estar enfocados a cada caso en particular. Esto implica utilizar técnicas de muestreo adecuadas, realizadas por un equipo de profesionales idóneos en los diferentes campos a estudiar, con el fin de comprender los posibles efectos sinérgicos entre diferentes contaminantes y la interacción con el medio.

La gestión de los pasivos ambientales requiere fortalecer la capacidad técnica y regulatoria de las autoridades ambientales, promoviendo la participación pública y la transparencia en los procesos de evaluación. Es esencial fomentar la colaboración entre el gobierno, la industria minera, las comunidades locales y otras partes interesadas para desarrollar soluciones integrales y sostenibles.

Es por ello que, solo a través de un enfoque integral y colaborativo se puede lograr una gestión efectiva de los potenciales pasivos, promoviendo una reducción significativa del impacto ambiental asociado con la actividad minera.

Perú, por ejemplo, gestiona los Pasivos Ambientales Mineros, usando una metodología basada en la detección del punto (mediante coordenadas, indicaciones u otras fuentes de información fiable), pasando posteriormente por la etapa de caracterización del área identificada para procurar establecer un escenario claro de priorización en su gestión. Finalmente se expiden los estudios de ingeniería para proceder a ejecutar las actividades y realizar el respectivo monitoreo de obras.

Con base a la información recolectada de la primera fase de ubicación, se procede a hacer uso de las fichas diagnósticas disponibles para conocer:

- i. información general de la unidad minera que operaba
- ii. clasificación de las labores mineras
- iii. residuos mineros

- iv. infraestructura
- v. sustancias químicas (almacenadas o derrames).

A su vez, dichas fichas consideran tres criterios de riesgo entre los cuales se debe tener en cuenta:

- i. La seguridad
- ii. La salud humana y el ambiente físico
- iii. Fauna silvestre y conservación

En este orden, los PAM en Perú se clasifican según el nivel de riesgo para la salud de la población y el ecosistema circundante. Las prioridades se definen de la siguiente manera:

- i. muy alta,
- ii. alta,
- iii. media,
- iv. baja,
- v. insignificante, y
- vi. no definida.

En la identificación del riesgo, se resalta la importancia de caracterizar al inicio la naturaleza del pasivo ambiental como por ejemplo: si corresponden a depósitos de relaves, depósitos de escorias, tajos abiertos entre otros y posteriormente definir los posibles consecuencias sin manejo como: drenaje de aguas acidas, fallas por erosión, inestabilidad de taludes entre otras, esto con el fin de establecer la pertinencia de convocar a los comités de gestión del riesgo y así establecer su participación en la clasificación y medidas de mitigación. Para lo anterior, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en el taller de la Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos llevado a cabo en el 2023 en Brasil, plantea los escenarios de afectación sobre diferentes componentes asignando un nivel de riesgo que va desde la categoría 1 a la 3 como se muestra en la figura 3.

Figura 3

Esquema sobre el análisis de escenarios de riesgo de los PAM de la CEPAL.



Nota. Riesgos asociados a los pasivos ambientales mineros. Adaptado de La Guía Metodológica para la Remediación de PAM. Por M Pereira. (2023). Recuperado de: https://asgmi.org/wp-content/uploads/2023/12/04-PAM_CEPAL_ASGMI_28nov_MP.pdf

Esta metodología implementada en el Perú, de acuerdo al informe de la CEPAL, se alinea con la normativa expedida por ese país con el fin de mitigar los impactos ocasionados por pasivos ambientales mineros.

Principales pasivos ambientales producto de la actividad minera y sus consecuencias.

Es evidente que casi de manera generalizada, los pasivos ambientales mineros encontrados son semejantes entre países ya que esto depende entre otras, del tamaño de la minería, el tipo de mineral a explotar y los métodos de extracción. Sin embargo, existen unas determinantes de tipo normativo y físicas del entorno, que hacen que varíen los impactos generados por estos potenciales pasivos mineros.

Dentro de los principales potenciales pasivos ambientales identificados se clasifican los siguientes:

Tabla 2

Potenciales Pasivos Ambientales Mineros de infraestructura y otros.

TIPO	Potencial PAM (infraestructura)	POTENCIAL PAM / (OTROS)
Superficial y subterráneo	Relaves, pozos, depósitos de desmonte, campamentos, oficinas, talleres, caminos, líneas férreas, líneas eléctricas, plantas de procesamiento, bocaminas, chimeneas, trincheras, tajos, pilas de lixiviación,	Residuos de carbón, lodos de neutralización, suelo orgánico, residuos industriales, domésticos, construcción de Sustancias químicas almacenadas y derramadas como, reactivos de proceso, aceites, combustibles, solventes, explosivos, reactivos de laboratorio.

Nota. Esta tabla muestra la relación de potenciales pasivos ambientales que se pueden encontrar al interior de un proyecto minero. Tomado de:

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/37280/ChiaPintoLauraAlejandra2020.pdf>

En síntesis, estos potenciales pasivos ambientales mineros al no ser tratados oportunamente, podrían generar consecuencias no deseadas al medio ambiente.

Entre los fenómenos que podrían presentarse están: generación de drenajes ácidos con metales pesados, desplome de labores superficiales y subterráneas por las condiciones del suelo, erosión del suelo por depósitos de desechos sólidos y/o líquidos, contaminación de fuentes hídricas superficiales y subterráneas, contaminación del aire por material particulado, combustión por mal disposición de residuos, pérdida de la cobertura vegetal, entre otros eventos que coadyuvan al deterioro del ecosistema.

Para resumir, la influencia que tendrían estos hallazgos sobre los diversos componentes ambientales con los que interactúe, la autora Chia, L. en 2020 propone lo siguiente:

Tabla 3

Componentes e impactos a evaluar dentro de las áreas mineras identificadas.

COMPONENTE	POTENCIAL PASIVO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL
AGUA	Drenaje ácido y erosión, aguas sedimentadas y cambios en el cauce de las aguas. Poca disponibilidad del recurso.	Contaminación de agua superficial, subterránea y uso insostenible del recurso hídrico
AIRE	Aires saturados de material particulado.	Contaminación del aire
SUELO	Suelos no fértiles, inestabilidad de suelos y fenómenos de remoción en masa.	Contaminación del suelo y alteración de la vocación de los usos de suelo.
FAUNA	Extinción, migración y daños en especies.	Impactos negativos en la fauna relacionadas con muertes, desplazamientos forzados y disminución de ejemplares faunísticos.
FLORA	Reducción de capa vegetal.	Impactos negativos en la flora frente a su disposición y fines ecosistémicos.
SOCIOECONMICO	Poca disponibilidad de los recursos naturales aprovechables, problemas de salud en la población	Impactos en la economía local y la salud de las comunidades

Nota. Principales impactos que influyen dentro de los componentes asociados a la minería. Tomado de: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/37280/ChiaPintoLauraAlejandra2020.pdf>

Hipótesis

La hipótesis central de este estudio plantea que la implementación de un modelo metodológico de gestión ambiental, diseñado específicamente para identificar y caracterizar los pasivos ambientales mineros (PAM) en Colombia, lo que puede generar una gestión significativa de los impactos negativos asociados con las actividades mineras, que representan potencialmente

un riesgo para la salud humana y el ecosistema. Esta ruta no solo mejorará el conocimiento de las áreas que representan un riesgo, sino que permitirán el análisis de futuras estrategias de mitigación de impactos ambientales en las áreas afectadas, contribuyendo así al bienestar social y económico de las comunidades locales.

Esta hipótesis se basa en varios supuestos interrelacionados:

1. Importancia de la Identificación y Caracterización de los PAM

La gestión efectiva de los PAM requiere primero una identificación exhaustiva de las áreas afectadas. Esto incluye el uso de tecnologías avanzadas, como sistemas de información geográfica (GIS), y la aplicación de fichas diagnósticas estandarizadas para recopilar datos clave sobre las condiciones físicas, químicas y biológicas del área. La caracterización posterior, permite determinar la magnitud del impacto ambiental y el nivel de riesgo asociado.

2. Eficiencia del Enfoque Metodológico

La implementación de un modelo metodológico estructurado y validado asegura un enfoque sistemático y replicable para abordar los PAM. Este modelo no solo debe contemplar el análisis técnico, sino también incorporar la participación comunitaria y el cumplimiento normativo, considerados como factores esenciales para garantizar su viabilidad.

3. Mitigación de Impactos Ambientales y Sociales

Los PAM generan múltiples impactos, como la contaminación de suelos y aguas, la pérdida de biodiversidad y el aumento de riesgos para la salud humana. Una gestión adecuada permite reducir estos efectos al implementar estrategias específicas futuras de remediación, como la estabilización de taludes, la recuperación de suelos degradados y la reforestación de áreas afectadas.

4. Contribución al Desarrollo Sostenible

Al abordar los PAM, este modelo no solo busca la rehabilitación ambiental, sino también la transformación de las áreas afectadas en zonas productivas o espacios ecológicos funcionales, etapa que vendría posterior a una adecuada identificación y caracterización como medida de selección de áreas que requieren prioritaria atención. Esto está alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular los relacionados con agua limpia (ODS 6), acción por el clima (ODS 13) y vida de ecosistemas terrestres (ODS 15).

En Colombia, la problemática de los pasivos ambientales mineros (PAM) constituye un desafío significativo que afecta tanto a los ecosistemas como a las comunidades cercanas a las zonas mineras. Esta realidad se ve agravada por la ausencia de una normatividad específica, la prevalencia de la minería informal y la limitada disponibilidad de recursos técnicos y financieros para abordar esta situación de manera eficiente. Aunque la minería ha sido un motor importante para la economía nacional, su desarrollo histórico, muchas veces sin planificación adecuada, ha resultado en un legado de áreas degradadas y contaminadas que representan riesgos ambientales y sociales significativos.

Uno de los mayores obstáculos en la gestión de los PAM en Colombia es la falta de claridad normativa. La Ley 2327 de 2023 establece una definición general para los pasivos ambientales, pero no cuenta con lineamientos específicos que orienten su gestión en el sector minero. Esto ha generado vacíos que dificultan la implementación de estrategias concretas, lo que deja en desventaja a las autoridades locales y a las comunidades afectadas. Este vacío normativo es precisamente lo que hace indispensable desarrollar un modelo metodológico que no solo facilite la identificación y caracterización de los PAM, sino que también sirva como base para la creación de políticas públicas robustas.

En este contexto, el autor ha desempeñado un papel activo en mesas técnicas organizadas con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Estas mesas han sido fundamentales para abordar la problemática de los PAM desde un enfoque técnico y práctico, al tiempo que han generado conocimiento en un área que, hasta ahora, ha sido poco explorada en el país. Estas discusiones han permitido identificar necesidades críticas, como la falta de herramientas para clasificar y monitorear los PAM, además de fortalecer la comprensión del tema entre los actores involucrados. Dado que se trata de una temática novedosa en Colombia, estas mesas han contribuido a sensibilizar a las autoridades y otras partes interesadas, abriendo un espacio para el desarrollo de lineamientos normativos y técnicos que permitan una gestión más eficiente.

Otro factor que agrava la situación de los PAM en Colombia es la minería informal, que opera al margen de las regulaciones ambientales y mineras. Esta actividad, muchas veces antitécnica, no contempla planes de cierre ni medidas de mitigación, lo que resulta en la generación de un volumen considerable de pasivos ambientales. La falta de control sobre estas actividades dificulta aún más la gestión de los impactos ambientales acumulados.

Durante las mesas técnicas en las que ha participado el autor, se ha enfatizado la necesidad de integrar a los mineros informales en el marco de la gestión de PAM mediante procesos de formalización y educación ambiental. La formalización minera no solo permitiría implementar mejores prácticas ambientales, sino que también facilitaría el monitoreo y control de las actividades extractivas, reduciendo así la generación de nuevos pasivos.

Además, las limitaciones técnicas y financieras representan un obstáculo significativo para abordar esta problemática. Muchas entidades regionales carecen de equipos especializados y recursos suficientes para identificar y caracterizar los PAM, lo que resulta en esfuerzos dispersos y poco efectivos. En las mesas técnicas, así como en la ley de pasivos ambientales, se han abordado alternativas como la creación de fondos ambientales sostenibles, alimentados por aportes del sector privado y organismos internacionales, para financiar las actividades necesarias para la remediación de estas áreas una vez plenamente identificadas y priorizadas. Asimismo, se ha propuesto el fortalecimiento de las capacidades locales mediante la formación de equipos interdisciplinarios que incluyan ingenieros ambientales, geólogos y trabajadores sociales, lo que permitiría abordar la problemática de manera integral y efectiva.

La contribución de esta tesis a la gestión de los PAM en Colombia radica en su capacidad para desarrollar un modelo metodológico estructurado y replicable que pueda ser adoptado como estándar nacional, sin dejar de lado el mejoramiento del análisis una vez se cuenten con recursos técnicos y financieros para profundizar en los análisis insitu de las áreas identificadas inicialmente bajo esta metodología como potenciales pasivos ambientales mineros.

Este modelo no solo se enfoca en la identificación y caracterización de los PAM, sino que también incorpora elementos críticos como la participación comunitaria y el cumplimiento normativo, asegurando que las soluciones propuestas sean sostenibles y socialmente aceptables.

La relevancia de este trabajo también se refleja en su impacto en las mesas técnicas, donde se han promovido estándares prácticos como el uso de fichas diagnósticas estandarizadas y el desarrollo de mapas de riesgo. Estas herramientas facilitan una clasificación más precisa de los PAM y una mejor priorización de las áreas que requieren intervención inmediata. Las discusiones sostenidas, han permitido que el tema de los PAM gane visibilidad en la agenda pública, posicionándolo como un problema ambiental prioritario que requiere atención urgente.

El desarrollo de esta tesis no solo busca contribuir al conocimiento técnico, sino también incidir directamente en la formulación de políticas públicas que permitan una gestión adecuada de los PAM. Al proporcionar un marco metodológico sólido, esta tesis puede servir como una herramienta clave para transformar los PAM de Colombia en una oportunidad para la sostenibilidad ambiental y el desarrollo regional. Esto refuerza su valor no solo como un ejercicio académico, sino como un aporte real y práctico a la política pública del país.

Variables

Ejes Fundamentales para la Gestión de Pasivos Ambientales Mineros

El análisis y la gestión de los pasivos ambientales mineros (PAM), requieren una comprensión integral de las múltiples dimensiones involucradas. Para este propósito, las variables desempeñan un papel crucial al estructurar el modelo metodológico y garantizar que se aborden todos los aspectos técnicos, ambientales, sociales, regulatorios y de gestión necesarios para una solución efectiva y sostenible. A continuación, se profundiza en las variables, organizadas en cinco categorías clave, con el fin de proporcionar un marco completo y claro que sirva de guía para la investigación.

1. Variables Técnicas y Físicas

Estas variables son esenciales para describir las características físicas, químicas y estructurales de los sitios afectados por los PAM.

Tabla 4

Variables Técnicas y Físicas.

Variable	Descripción	Ejemplo de Aplicación
Geolocalización	Ubicación precisa de las áreas afectadas utilizando coordenadas geográficas.	Identificar una mina abandonada en Soacha, Cundinamarca, con coordenadas específicas para su monitoreo.

Estado físico de la mina	Evaluación de las condiciones estructurales.	Determinar si un dique en una mina abandonada está en riesgo de colapsar.
Tipo de minería	Clasificación según el método de extracción utilizado: cielo abierto, subterránea, o aluvial.	Identificar si una mina abandonada fue subterránea, lo que influye en los riesgos asociados, como colapsos de túneles.
Presencia de residuos	Identificación y caracterización de residuos sólidos (relaves, estériles) y líquidos (drenaje ácido).	Análisis de los relaves de una mina para detectar niveles de mercurio y su impacto en cuerpos de agua cercanos.

Nota. Descripción de variables. **Fuente:** Autor

Estas variables permiten generar una imagen clara y detallada de las áreas afectadas, que sirve como base para priorizar las intervenciones posteriores a la plena identificación del potencial pasivo ambiental minero.

2. Variables Ambientales

El impacto ambiental de los PAM es multifacético e involucra recursos clave como el agua, el suelo y el aire, así como la biodiversidad. Estas variables buscan evaluar el grado de degradación y las posibles categorías de riesgo a las que se encuentra expuesta el área caracterizada.

Tabla 5

Variables Ambientales.

Variable	Descripción	Ejemplo de Aplicación
Impactos hídricos	Contaminación de aguas superficiales y subterráneas debido a sustancias tóxicas como metales pesados.	Medir niveles de plomo y arsénico en un río adyacente a una mina abandonada.

Erosión y calidad del suelo	Evaluación de pérdida de nutrientes, compactación del suelo y presencia de contaminantes.	Analizar la fertilidad de un terreno que ha sido degradado por la minería para proponer su recuperación mediante reforestación.
Biodiversidad	Alteraciones en la flora y fauna local, pérdida de hábitats y especies endémicas.	Identificar especies en peligro de extinción afectadas por una mina abandonada en un área protegida.

Nota. Descripción de variables. **Fuente:** Autor

3. Variables Socioeconómicas

Estas variables exploran el impacto de los PAM en las comunidades locales y la economía regional, considerando tanto los efectos negativos como las oportunidades de desarrollo que pueden surgir de una adecuada gestión de los PAM.

Tabla 6

Variables Socioeconómicas.

Variable	Descripción	Ejemplo de Aplicación
Impactos en la salud pública	Riesgos para la salud humana derivados de la exposición a contaminantes como mercurio y arsénico.	Evaluar tasas de enfermedades respiratorias en comunidades cercanas a minas abandonadas con alta emisión de material particulado.
Uso del suelo	Evaluación del uso actual y potencial del suelo en áreas afectadas,	Identificar la viabilidad de convertir un terreno minero degradado para usos post-minería.

Nota. Descripción de variables. **Fuente:** Autor

4. Variables Regulatorias

Estas variables abordan el marco normativo y las obligaciones legales relacionadas con la gestión de los PAM, proporcionando una guía para garantizar el cumplimiento y asignar responsabilidades.

Tabla 7

Variables Regulatorias.

Variable	Descripción	Ejemplo de Aplicación
Cumplimiento de normas ambientales	Evaluación de la adherencia a regulaciones nacionales e internacionales sobre PAM.	Verificar si una empresa minera cumple con los requisitos establecidos en las leyes vigentes.
Permisos y licencias	Revisión de la documentación legal requerida para actividades mineras y su cierre.	Analizar la vigencia de licencias ambientales en áreas mineras activas para prevenir futuros pasivos.
Responsabilidad legal	Identificación de los actores responsables de la gestión de los PAM, incluyendo empresas y autoridades.	Determinar si una mina abandonada es responsable de una empresa en liquidación o del Estado.

Nota. Descripción de variables. **Fuente:** Autor

5. Variables de Gestión y Planificación

Finalmente, las variables de gestión y planificación son clave para asegurar que las acciones propuestas sean viables desde el punto de vista técnico, organizacional y financiero.

Tabla 8

Variables de Gestión y Planificación.

Variable	Descripción	Ejemplo de Aplicación
Provisión financiera	Disponibilidad de recursos económicos para implementar estrategias de remediación.	Proponer la creación de un fondo ambiental sostenible financiado por regalías mineras.

Indicadores de desempeño	Definición de métricas para evaluar el progreso de las intervenciones en los PAM.	Medir el aumento de la cobertura vegetal en un área rehabilitada como indicador de éxito.
Coordinación interinstitucional	Participación de diversas entidades públicas y privadas en la planificación y ejecución de estrategias.	Involucrar a ministerios, corporaciones autónomas regionales y ONGs en un plan integral de recuperación de PAM.

Nota. Descripción de variables. **Fuente:** Autor

Estas variables aseguran que las acciones propuestas sean sostenibles y estén respaldadas por una gestión eficiente y transparente.

Metodología

La metodología descrita (figura 4), se fundamenta en un enfoque integral que combina herramientas cualitativas y cuantitativas para abordar esta problemática desde múltiples dimensiones. Este marco metodológico tiene como objetivo no solo la identificación y caracterización de los PAM, sino también la evaluación de sus impactos en los ecosistemas y en las comunidades, ofreciendo una base técnica sólida para establecer el índice de vulnerabilidad ambiental de las zonas identificadas, así como del nivel de riesgo que representa para un trabajo futuro de implementación de estrategias de remediación y la formulación de políticas públicas. En este contexto, la metodología incorpora dos diseños principales, transversal y longitudinal, complementados por consideraciones metodológicas específicas que aseguran la relevancia, validez y aplicabilidad de los resultados obtenidos, materializado en el caso de estudio presentado.

El diseño transversal detalla las condiciones actuales de los PAM en un momento específico, permitiendo evaluar y describir las características clave de las áreas afectadas, incluyendo aspectos técnicos y ambientales, lo que facilita la identificación de patrones y la priorización de las zonas que requieren intervención inmediata. Este se implementa a través de la recolección de datos, por ejemplo, mediante la ficha diagnóstica, permitiendo conocer las características físicas (como tipo de minería, estado estructural y presencia de residuos) e impactos ambientales detectados (como contaminación de agua, suelo y aire).

El diseño longitudinal, por otro lado, se centra en el análisis dinámico de los cambios y tendencias en los PAM a lo largo del tiempo. Este enfoque complementa al diseño transversal al permitir el seguimiento continuo de las áreas afectadas, evaluando cómo evolucionan las condiciones ambientales, sociales y estructurales bajo diferentes escenarios.

De lo anterior, la metodología diseñada garantiza la validez, confiabilidad y aplicabilidad de los resultados obtenidos evidenciado en el caso de estudio. Estas consideraciones incluyen:

1. Tipo de Estudio:

El enfoque descriptivo-correlacional de la metodología permite tanto caracterizar los PAM en detalle como analizar las relaciones entre variables críticas. Por ejemplo, se pueden correlacionar factores como la proximidad a cuerpos de agua y el nivel de contaminación detectado, lo que ayuda a entender mejor los riesgos asociados.

2. Enfoque Mixto:

La combinación de métodos cualitativos y cuantitativos asegura una visión integral de los PAM. Los datos cualitativos, complementan los datos cuantitativos derivados de análisis de caracterización de las áreas, proporcionando una perspectiva más completa.

3. Instrumentos de Recolección de Datos:

Los principales instrumentos utilizados incluyen como se ha mencionado, la ficha diagnóstica, la revisión documental de licencias y permisos. Estos instrumentos son diseñados para capturar información detallada sobre aspectos técnicos y ambientales, garantizando una cobertura amplia y representativa.

4. Consideraciones Éticas:

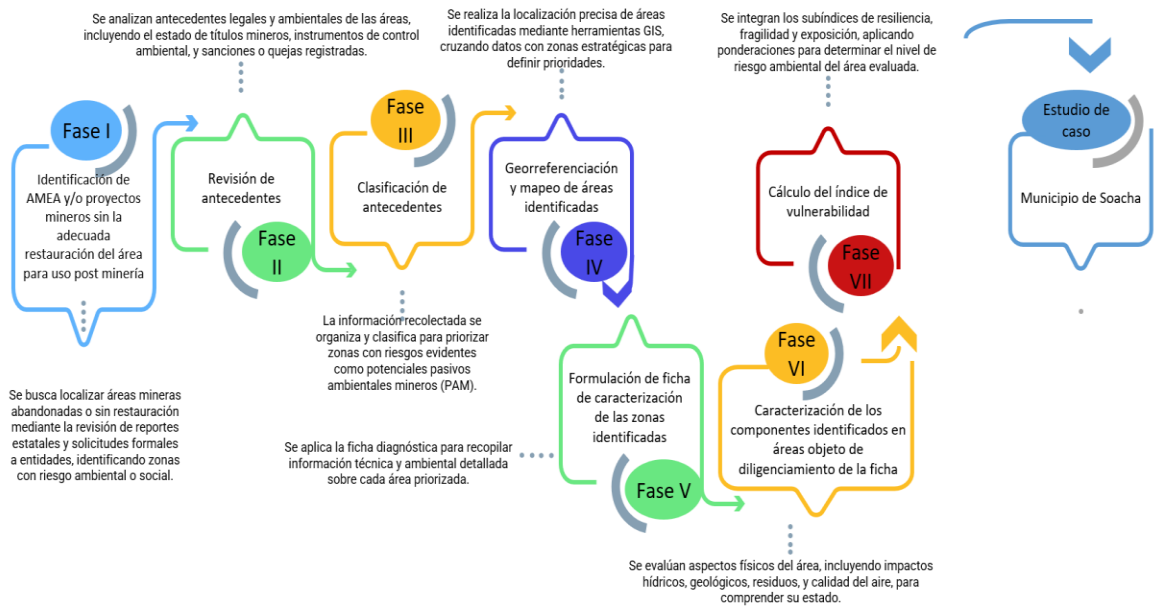
La metodología se desarrolla bajo principios de transparencia y consentimiento informado, garantizando que todos los actores involucrados comprendan los objetivos y procedimientos de la investigación. Esto fomenta la confianza y la colaboración entre las partes.

La integración de estos diseños, junto con las consideraciones metodológicas descritas, proporcionan un marco robusto y adaptable para abordar los PAM en Colombia. Esta metodología permite no solo caracterizar los PAM de manera precisa, previa a un informe técnico de mayor detalle incluyendo análisis más especializados, sino que también proporciona una idea sobre las condiciones de riesgo a las que se encuentran expuestas las áreas para la formulación de estrategias que mitiguen sus impactos en el medio. Este enfoque integral es esencial para transformar los

PAM en una oportunidad para promover el desarrollo sostenible y fortalecer las políticas públicas relacionadas con la sostenibilidad ambiental en el sector minero.

Figura 4

Modelo metodológico de gestión ambiental para la identificación de un potencial pasivo ambiental minero en Colombia



Nota. Síntesis del modelo metodológico planteado para la identificación de PAM. Fuente: Autor

Trabajo de campo

Ruta metodológica de identificación de un potencial pasivo ambiental en el territorio colombiano

Teniendo en cuenta los antecedentes normativos y metodológicos implementados desde el componente minero en otros países respecto de la gestión de pasivos ambientales, los cuales continúan vigentes, se considera conducente incorporar de manera general a la ruta metodológica aquí planteada en fases, la evaluación del riesgo para que de manera conceptual encaje en la definición de pasivo ambiental denominado por la ley 2327 de 2023, estableciendo el grado de

vulnerabilidad del área, así como la caracterización de los diferentes componentes a nivel biótico y abiótico que integran las áreas intervenidas por la actividad minera en Colombia.

Elementos que debe tener contener el modelo metodológico, para la identificación de pasivos ambientales mineros

Fase I: Identificación de AMEA y/o proyectos mineros sin la adecuada restauración del área para uso post minería

Para la identificación de un potencial pasivo ambiental minero en el territorio colombiano, es necesario establecer como primera etapa, la verificación de la información que reporten las entidades estatales a nivel nacional o los municipios y/o localidades de los territorios sobre áreas mineras en estado de abandono. Esta fase requiere de la presentación, por parte del interesado en hacer la identificación del pasivo ambiental minero, de una solicitud a modo de derecho de petición a las entidades sobre áreas que hayan sido intervenidas por acción de las actividades mineras y en las que se evidencie el estado de abandono o de la falta de reconfiguración o estabilización de sus componentes bióticos y abióticos, que puedan representar un potencial riesgo para el ecosistema y/o las comunidades aledañas.

Fase II: Revisión de antecedentes

Se requiere hacer la identificación de los antecedentes relacionados con el estado de los títulos mineros que se encuentren vigentes en el territorio. Esta información puede ser solicitada ante la agencia nacional de minería – ANM y es de utilidad para establecer el estado de las áreas que se encuentran amparadas bajo un contrato de concesión minera o cualquiera de las figuras que concede el estado para la explotación de minerales (contrato en virtud de aporte, registro minero de cantera entre otros). A pesar de que exista un título minero, no necesariamente se puede encontrar el área intervenida, por lo que como segunda parte de la revisión de antecedentes, se requiere identificar si las áreas cuentan con un instrumento de control ambiental, encontrándose entre las figuras de Licencia ambiental, Licencia ambiental temporal, Plan de manejo ambiental, o Plan de manejo recuperación y restauración ambiental, este último en la actualidad, en teoría, no aplica como un instrumento para efectuar explotación, sino que más bien va dirigido al cierre de las actividades mineras; y entre estas, cualquier actividad administrativa como reporte de quejas por áreas en condición de riesgo o con procesos sancionatorios. Esta información se puede solicitar

ante las Corporaciones autónomas regionales o aquellas entidades a las que se les atribuye esta facultad de las que hace referencia la ley 99 de 1993.

Esta información será útil para conocer en primera instancia si existe intervención en el área identificada, el responsable de las actividades y la etapa en la que se encuentra la misma.

FASE III: Clasificación de antecedentes

En este apartado, se requiere organizar la información recolectada en la fase II con el fin de establecer cuáles de las áreas identificadas cuentan con instrumento de control minero y ambiental a fin de descartar aquellas zonas que se encuentran ejecutando la actividad en el marco de un licenciamiento en cualquiera de sus etapas y las cuales no serían objeto de evaluación y/o caracterización como potencial pasivo ambiental minero, así como de aquellas que cuenten con un proceso administrativo sancionatorio.

Para la información que reporte un antecedente de queja o informe relacionado con una situación de riesgo o AMEA, debe ser priorizado como registro de potencial pasivo ambiental minero para proceder a ser caracterizado a nivel técnico con la ficha de diagnóstico que se cita en la Fase V. Se recomienda que la información sea diferenciada en las dos categorías que se muestran en la tabla 9.

Tabla 9

Clasificación de información obtenida como antecedente del área a caracterizar como potencial PAM.

<i>Zona minera con reporte de situación de riesgo</i>	<i>AMEA- área minera en estado de abandono</i>
<i>En este apartado es importante identificar la ubicación de las áreas (nombre del predio, cedula catastral, coordenadas o algún identificador que permita ubicar espacialmente la zona), a que riesgo se encuentra asociado (desprendimiento de material por diseño antitécnico de taludes, contaminación de fuentes hídricas, bocaminas</i>	<i>Se requiere información relacionada con la ubicación (nombre del predio, cedula catastral, coordenadas o algún identificador que permita ubicar espacialmente la zona), y a qué tipo de intervención minera corresponde el área (a cielo abierto, subterránea, aluvial).</i>

sin cierres adecuados o cualquiera que sea el reporte). Si existe algún informe elaborado por entidades como autoridades ambientales, comités de gestión del riesgo u otro delegado para tal fin y finalmente a que tipo de intervención minera corresponde el área (a cielo abierto, subterránea, aluvial).

Nota. La clasificación de la información es importante para organizar de manera diferenciada, las áreas que reportan una situación de riesgo de aquellas que aun se encuentran ejecutando alguna etapa dentro de su proyecto, ya que dentro de los instrumentos mineros y/o ambientales, dependiendo de la ley bajo la cual se configuró de manera permisiva la actividad, pueden incluir su etapa de restauración del área hasta la finalización de las actividades de extracción del mineral.

Fase IV: Georreferenciación y mapeo de áreas identificadas

Dentro de la metodología propuesta, para la fase V sobre la caracterización del área, se tomará como base el procedimiento detallado en el Manual para el Inventario de Minas Abandonadas o Paralizadas del Grupo de Expertos en Pasivos Ambientales Mineros de ASGMI (Asociación de servicios de geología y minería Iberoamericanos), en el cual destaca la importancia de la identificación y caracterización de los aspectos que componen los Pasivos Ambientales Mineros como paso fundamental en la gestión ambiental. Este manual se centra en la localización y registro de minas abandonadas o paralizadas que representan potenciales riesgos ambientales, basado en la recopilación de datos, los cuales deben incluir la ubicación geográfica precisa y detalles del entorno, a partir de un análisis detallado de las condiciones del sitio, incluyendo la descripción de las estructuras existentes, el estado de los depósitos de residuos, la identificación de posibles contaminantes, áreas de importancia ambiental en el área de influencia, entre otros.

Esta fase es crítica para construir un inventario preliminar que permita conocer el estado de los aspectos que integran el área intervenida, para posteriormente establecer y/o cuantificar su nivel de riesgo.

En esta fase, es importante contar con las coordenadas o un sitio de referencia de los puntos identificados en la etapa de antecedentes, con el fin de cruzar la información, con ayuda de herramientas como ArcGIS, QGIS, Google Maps o cualquiera que permita la geolocalización del

objeto de estudio, con zonas de importancia estratégica para el establecimiento de zonas con mayor interés para abordar la caracterización de los PAM y a su vez comprender de manera integrada el alcance que tendría el inventario de los potenciales pasivos ambientales en términos de impacto ambiental.

Respecto de las zonas de importancia estratégica la autora Madero, L en 2021, hace un planteamiento sobre la cartografía básica y temática, respecto de áreas de importancia estratégica ambiental, que puede ser tenidas en cuenta para este ejercicio de identificación de potenciales pasivos ambientales mineros (figura 5).

Figura 5

Esquema sobre tipos de cartografía básica y temática para identificación de áreas con potencial de pasivo ambiental minero en el territorio nacional.

Tipo	Componente	Fuente	Observaciones
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	

Nota. Tener en cuenta instrumentos como el POT de los municipios en cualquiera de sus categorías, contar con reportes como POMCA, o cualquier otro como los que se mencionan en la figura, son relevantes para identificar la prioridad y la importancia de clasificar las áreas que se pretenden caracterizar como potenciales PAM. Tomado de:

https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/54282/Tesis_riesgos_AMEA.pdf?sequence=1

Fase V: Formulación de ficha de caracterización de las zonas identificadas

En este apartado, se formula la ficha que permitirá tener un diagnóstico sobre el estado actual en el que se hallen las áreas identificadas en la fase de georreferenciación. Esta ficha fue elaborada con base al Manual para el Inventario de Minas Abandonadas o Paralizadas del Grupo de Expertos en Pasivos Ambientales Mineros de ASGMI y la cual se encuentra en el Anexo 1 del documento.

Fase VI: Caracterización de los componentes identificados en áreas objeto de diligenciamiento de la ficha

1. Datos del investigador de campo

En esta sección, se incorporan los datos de la persona que procederá a realizar el diligenciamiento de la ficha diagnóstica.

- Número de registro: Identificación única del reporte. Si no existe un número predeterminado, cree uno siguiendo un formato estandarizado, como "AAA-MMDD-AA" (ejemplo: MIN-1120-01) o usando de manera integrada la categoría de la zona a reportar como departamento, municipio, localidad etc.
- Responsable del reporte: Nombre completo del investigador de campo.
- Fecha: Registre la fecha en que se realiza el diagnóstico, siguiendo el formato "DD/MM/AAAA".
- Número de identificación: Escriba el documento de identificación del investigador (cédula, pasaporte, etc.).

2. Ubicación área sospecha

Describir con precisión dónde se encuentra el área sospechosa.

- Incluir las coordenadas geográficas (latitud y longitud) obtenidas con GPS.
- Indicar el departamento, municipio y cualquier referencia local que facilite la identificación, como un hito geográfico o nombre local.
- Anotar detalles relevantes como accesibilidad (ejemplo, "cerca de carretera principal a 3 km del río").

Nota: Loss detalles adicionales que se requieran en complemento de la ficha, pueden ser aportados mediante un informe anexo a la ficha de diagnóstico.

3. Tipo de minería

En este apartado se debe seleccionar, con base en los hallazgos evidenciados en el área a estudiar, el tipo de mineral que fue objeto de la extracción insitu. Esta puede ser identificada bajo el apartado de antecedentes, verificando el tipo de intervención que reporte el área, por experticia del profesional (ingeniero de minas, geólogo, entre otros).

4. Tipo de mina

En este apartado, se debe detallar el tipo de minería que se practicó en el área sospechosa. Para diligenciar esta información, teniendo en cuenta las siguientes indicaciones:

Clasificación del tipo de minería

Identificar si la actividad corresponde a:

- Cielo abierto: Extracción directamente de la superficie. Incluir detalles como profundidades de los frentes de trabajo o áreas intervenidas.
- Subterránea: Explotación bajo tierra. Describir el tamaño y estado de las galerías o túneles si son visibles.
- Aluvial: Este apartado es para extracción de materiales de arrastre.

De igual forma, diligenciar la casilla de abandonada o no, y establecer un área aproximada en metros cuadrados.

5. Características de la planta

En caso de que exista una planta en la zona, se deben describir sus características mencionando el área aproximada que ocupa la estructura:

- Infraestructura: Detallar el estado y los materiales de construcción de la planta (ejemplo, "estructura metálica en mal estado").
- Procesos realizados: Listar las actividades que se realizaban (trituración, lavado, amalgamación, etc.).

6. Características del entorno

a. Componente hídrico

i. Inundación, drenaje y/o agua estancada

Evaluar si existen áreas inundadas, problemas de drenaje o cuerpos de agua estancada. En este apartado se debe medir el grado de acidez que presenta el cuerpo de agua, con la

ayuda de un medidor de pH. De igual forma se debe reportar la temperatura a la que se encuentra el fluido, definiendo que aspecto tiene, por ejemplo, si cuenta con sólidos suspendidos, el color del agua, olor o algún atributo que considere relevante.

ii. Vertimientos

Identificar si existen descargas de líquidos (químicos, lodos, etc.) y su posible origen, así como la clase de componente afectado por este encausamiento (suelo o recurso hídrico). Verificar el estado en el que se encuentra el fluido teniendo en cuenta los mismos atributos identificados en el literal *i*, adicionando la velocidad a la que se encuentra corriendo el mismo.

b. Mina/planta sobre ronda de río

Indicar si la planta o mina está en una zona de protección hídrica. Especificar la distancia al cuerpo de agua más cercano (metros).

c. Usos del suelo

Describir el uso actual del suelo en el área (agrícola, urbano, forestal, etc.) y su compatibilidad con actividades mineras y establezca a que clase pertenece el suelo teniendo en cuenta la siguiente información:

Clase I

Suelos planos o casi planos, con pendientes menores al 3 % y erosión ligera (hasta el 10 % del área). Son profundos, sin piedras que interfieran con la maquinaria, y bien drenados. Retienen agua de forma media a alta, tienen fertilidad de moderada a alta y son aptos para diversos cultivos. Requieren prácticas básicas de manejo como fertilización y rotación de cultivos.

Clase II

Relieve similar al de la Clase I, con pendientes de hasta el 12 % y erosión ligera en un 20 % del área. Son moderadamente profundos, sin piedras significativas y con drenaje bueno o moderado. Admiten cultivos con limitaciones menores y necesitan manejo más cuidadoso que los de Clase I.

Clase III

Pendientes de hasta el 25 %, con erosión de ligera a moderada en un máximo del 30 % del área. Su profundidad varía de superficial a muy profunda, y presentan drenaje desde bueno hasta pobre.

Tienen limitaciones mayores que los de Clase II, lo que reduce la diversidad de cultivos y exige manejo más riguroso.

Clase IV

Pendientes y erosión más marcadas que en la Clase III: ligera hasta el 40 %, moderada hasta el 20 %, y severa hasta el 10 %. Su profundidad es variable, con drenaje desde aceptable hasta deficiente. Las limitaciones restringen su uso, y requieren prácticas exigentes de manejo y conservación.

Clase V

Suelos casi planos con pendientes menores al 3 %, muy superficiales y pedregosos, lo que dificulta el uso de maquinaria. El drenaje varía de excesivo a muy pobre, con inundaciones prolongadas. Su uso se limita principalmente a pastos, bosques o conservación de fauna.

Clase VI

Terrenos con pendientes del 25 al 60 %, y erosión ligera hasta el 80 % del área. Profundidad variable, con drenaje desde excesivo hasta pobre. Las limitaciones restringen su uso a pastoreo controlado, cultivos permanentes y conservación forestal.

Clase VII

Pendientes mayores al 50 %, con erosión más severa que en la Clase VI (hasta el 100 % del área). Profundidad superficial a muy profunda, con drenaje muy variable. Se destinan principalmente a vegetación forestal y manejo cuidadoso de áreas con menor pendiente.

Clase VIII

Suelos con las limitaciones más severas, generalmente en terrenos escarpados, pedregosos o extremos como páramos, nevados o desiertos. Solo aptos para conservación, paisajismo y usos recreativos.

d. Afectaciones geológicas del suelo

Registrar cualquier evidencia de erosión, hundimientos, fracturas o alteraciones visibles en el terreno.

e. Cobertura vegetal o de tierras

Determinar si el área tiene vegetación natural, cultivos o está completamente deforestada, indicando SI o NO a la categoría que pertenezca y dando un valor aproximado porcentual de presencia de estas coberturas en el área objeto de estudio.

f. Capacidad de recuperación paisajística

Evaluar si el área muestra signos de recuperación antrópica o natural (ejemplo, reforestación espontánea) y marcar con una X, el atributo a que corresponda.

g. Residuos

i. Residuos líquidos

Evaluar qué tipo de residuo líquido se evidencia en el área, teniendo en cuenta la lista que presenta la ficha diagnóstica. En caso de hallar uno diferente enunciar en otros, diligenciando los atributos requeridos. Listar los líquidos identificados (aceites, químicos, aguas residuales). Describir si son gestionados adecuadamente o vertidos al medio ambiente

ii. Residuos sólidos

Registrar materiales sólidos (escombros, plásticos, chatarra) y su disposición en caso de encontrarse almacenados o abandonados, así como los demás atributos solicitados. De encontrar otra clase, anotar en observaciones.

h. Calidad de aire

Establecer si se perciben partículas en suspensión o gases en el área. Describir su intensidad (leve/moderada/severa) y posibles fuentes (procesos mineros, quema, etc.), en el apartado de observaciones.

7. Aspectos complementarios

En este apartado, se debe registrar información adicional relevante, como:

- Percepciones de la comunidad: Anotar comentarios de pobladores locales sobre los impactos del pasivo ambiental.
- Observaciones adicionales: Detallar cualquier otro hallazgo que no encaje en las categorías anteriores, por ejemplo, presencia de otras actividades económicas o humanas en el área de influencia.
- Incluir evidencia fotográfica.

Fase VII: Cálculo del índice de vulnerabilidad

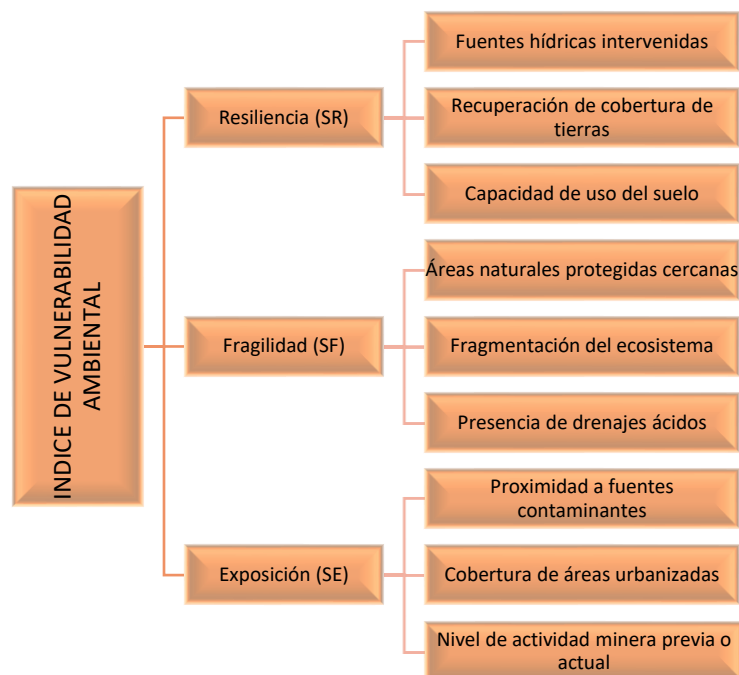
El Índice de Vulnerabilidad Ambiental (IVA) es una herramienta cuantitativa que integra múltiples factores ambientales, para evaluar el nivel de riesgo asociado a un área considerada en este caso específicamente como un potencial pasivo ambiental minero. Este índice se construye a partir de lo que se definirá como subíndices, entre los que se encuentran: Resiliencia (SR), Fragilidad (SF) y Exposición (SE) (figura 6), los cuales se calculan usando indicadores derivados de los datos recolectados en la ficha ambiental de caracterización de manera interpretativa, fortaleciendo la objetividad y reproducibilidad del índice (tabla 4).

De acuerdo a la experiencia del autor, estos índices fueron los establecidos para la formulación de la ruta, ya que permiten abarcar de manera completa y estructurada los principales factores que determinan la vulnerabilidad ambiental.

En el caso específico de áreas con potencial pasivo ambiental minero, estos atributos adquieren relevancia especial. La minería tiende a alterar profundamente la resiliencia del ecosistema, aumentar la fragilidad debido a la degradación del suelo y las aguas, y exponer a las comunidades y al medio ambiente a contaminantes o eventos extremos.

Figura 6

Esquema sobre los índices de vulnerabilidad y cálculo de riesgo.



Nota. Esquema sobre los índices de vulnerabilidad, tomados para la metodología planteada y que tienen en cuenta las características requeridas para el cálculo de riesgo de las áreas identificadas como potenciales PAM. Fuente: Autor.

Estructura de valoración del modelo

Asignación de valores y ponderación

Escala de valores

Cada indicador recibe un valor normalizado de 0 a 1, donde:

- 0: Condición ideal o sin impacto.
- 1: Condición de máximo impacto o riesgo.

Ponderación

Los indicadores se ponderan según su relevancia.

1. Descripción de subíndices: Componentes principales para los indicadores

1.1 Resiliencia (SR): Evalúa la capacidad del área para recuperarse tras las perturbaciones, representando los factores que favorecen la restauración natural del ecosistema. Cada subíndice

incluye indicadores específicos que se pueden medir y evaluar mediante los datos recolectados en la Ficha Ambiental.

1.1.1 Fuentes hídricas intervenidas: Mide el porcentaje de cuerpos de agua afectados en el área.

Escala:

- Sin afectación: 0
- Afectación moderada (20-50 %): 0.5
- Afectación alta (>50 %): 1

1.1.2 Recuperación de cobertura de tierras: Indica el porcentaje de cobertura vegetal recuperada tras la intervención.

Escala:

- Más del 90 % recuperado: 0
- Recuperación moderada (50-90 %): 0.5
- Recuperación baja (<50 %): 1

1.1.3 Capacidad de uso del suelo: Evalúa la clase de suelo presente en el área (I-VIII, según clasificación).

Escala:

- Clases I-II: 0 (alta resiliencia)
- Clases III-V: 0.5 (moderada)
- Clases VI-VIII: 1 (baja resiliencia)

Tabla 10

Asignación de valores sobre los indicadores que componen los índices de cálculo de vulnerabilidad ambiental para Resiliencia (SR).

Indicador	Descripción	Escala
		0: Sin afectación

Fuentes hídricas intervenidas	Porcentaje de cuerpos de agua afectados.	0.5: Afectación moderada (20-50 %) 1: Afectación alta (>50 %)
Recuperación de cobertura de tierras	Porcentaje de capacidad de recuperación del paisaje con base en la generación de cobertura de tierras que amortigua la presencia de escombros, estériles e infraestructura u otros.	0: >90 % recuperado 0.5: 50-90 % recuperado 1: <50 % recuperado
Capacidad de uso del suelo	Clasificación del suelo según limitaciones para el uso.	0: Clases I-II 0.5: Clases III-V 1: Clases VI-VIII

Nota. En esta tabla se muestra, en resumen, el rango recomendado sobre la valoración que compone cada uno de los atributos relevantes que encierran los componentes levantados en campo, dentro de la ficha diagnóstica. Fuente: Autor

1.2 Fragilidad (SF): *Analiza características intrínsecas del área que la hacen más susceptible al daño ambiental y su limitada capacidad para resistir impactos.*

1.2.1 Áreas naturales protegidas cercanas: Evalúa si el área está dentro o cerca de zonas protegidas.

Escala:

- Más de 10 km de distancia: 0
- Entre 2-10 km: 0.5
- Menos de 2 km: 1

1.2.2 Fragmentación del ecosistema: Representa la pérdida de continuidad en hábitats naturales.

Escala:

- Sin fragmentación (<10 % de hábitats alterados): 0
- Fragmentación moderada (10-50 %): 0.5
- Alta fragmentación (>50 %): 1

1.2.3 Presencia de drenajes ácidos: Indica si existen o no condiciones de drenaje ácido.

Escala:

- Ausente: 0
- Moderado: 0.5
- Alto: 1

Tabla 11

Asignación de valores sobre los indicadores que componen los índices de cálculo de vulnerabilidad ambiental para Fragilidad (SF).

Indicador	Descripción	Escala
Áreas naturales protegidas cercanas	Distancia a zonas protegidas.	0: >10 km
		0.5: 2-10 km
		1: <2 km
Fragmentación del ecosistema	Pérdida de continuidad de hábitats naturales.	0: <10 % fragmentado
		0.5: 10-50 % fragmentado
		1: >50 % fragmentado
		1: >50 % fragmentado
Presencia de drenajes ácidos	Existencia de condiciones de drenaje ácido.	0: Ausente
		0.5: Moderado
		1: Alto

Nota. En esta tabla se muestra, en resumen, el rango recomendado sobre la valoración que compone cada uno de los atributos relevantes que encierran los componentes levantados en campo, dentro de la ficha diagnóstica. Fuente: Autor

1.3 Exposición (SE): Mide la interacción entre el área evaluada y factores externos que puedan agravar su deterioro, como actividades humanas o proximidad a fuentes contaminantes.

1.3.1 Proximidad a fuentes contaminantes: Distancia a minas activas, industrias, etc.

Escala:

- Más de 10 km: 0
- Entre 2-10 km: 0.5
- Menos de 2 km: 1

1.3.2 Cobertura de áreas urbanizadas: Porcentaje del área urbanizada.

Escala:

- Menos del 10 %: 0
- Entre 10-50 %: 0.5
- Más del 50 %: 1

(Para este apartado debe definir un radio de medición sobre el área a caracterizar y sobre este calcular el porcentaje).

1.3.3 Nivel de actividad minera previa o actual: Nivel de explotación minera en el área.

Escala:

- Nula: 0
- Intermedia: 0.5
- Alta: 1

Tabla 12

Asignación de valores sobre los indicadores que componen los índices de cálculo de vulnerabilidad ambiental para Exposición (SE).

Indicador	Descripción	Escala
------------------	--------------------	---------------

Proximidad a fuentes contaminantes	Distancia a fuentes de contaminación (minas activas, industrias).	0: >10 km
		0.5: 2-10 km
		1: <2 km
Cobertura de áreas urbanizadas	Porcentaje de urbanización en el área.	0: <10 %
		0.5: 10-50 %
		1: >50 %
Nivel de actividad minera previa o actual	Nivel de explotación minera en el área.	0: Nula
		0.5: Intermedia
		1: Alta

Nota. En esta tabla se muestra, en resumen, el rango recomendado sobre la valoración que compone cada uno de los atributos relevantes que encierran los componentes levantados en campo, dentro de la ficha diagnóstica. Fuente: Autor

A continuación, en la tabla 13, se muestra una matriz que organiza los atributos tenidos en cuenta dentro del modelo metodológico para su ponderación.

Tabla 13

Ponderación de aspectos ambientales, para la caracterización de un potencial pasivo ambiental minero en Colombia.

IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS			NIVEL DE AFECTACIÓN			VALOR	$\sum(P_i \times V_i) / \sum P_i$
"PONDERACIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES, PARA LA CARACTERIZACIÓN DE UN POTENCIAL PASIVO AMBIENTAL MINERO EN COLOMBIA" RANGOS DE PONDERACIÓN 0: Condición ideal o sin impacto. 1: Condición de máximo impacto o riesgo.			CATEGORIA				
			SIN AFECTACIÓN	AFECTACIÓN MODERADA	AFECTACIÓN ALTA		
FACTORES AMBIENTALES			CALIFICACIÓN			PUNTAJE	
RESILIENCIA	Fuentes hídricas intervenidas	0					
		20-50%					
		>50 %					
	Recuperación de cobertura de tierras	>90 %					
		50-90 %					
		<50 %					
	Capacidad de uso del suelo	Clases I-II					
		Clases III-V					
		Clases VI-VIII					
FRAGILIDAD		>10 km					
		2-10 km					

	Áreas naturales protegidas cercanas	<10 km					
		Fragmentación del ecosistema (hábitats alterados)	<10 %				
			10-50 %				
	Presencia de drenajes ácidos	>50 %					
		Ausente					
		Moderado					
	EXPOSICIÓN	Proximidad a fuentes contaminantes	Alto				
			>10 km				
			2-10 km				
Cobertura de áreas urbanizadas		<2 km					
		<10 %					
		10-50 %					
Nivel de actividad minera previa o actual		>50 %					
		Nula					
		Intermedia					
		Alta					
TOTAL							

Nota. Fuente: Autor

2. Cálculo de subíndices

El valor de cada subíndice es un promedio ponderado de los valores normalizados de sus indicadores. La fórmula general es: $\frac{\sum(P_i \times V_i)}{\sum P_i}$, donde P_i corresponde a la ponderación del indicador i y V_i corresponde al valor normalizado del indicador i (entre 0 y 1).

Cálculo del IVA

El IVA se calcula integrando los tres subíndices (SR, SF, SE) mediante una fórmula ponderada:

$IVA = w_{SR} \times SR + w_{SF} \times SF + w_{SE} \times SE$, donde w_{SR} , w_{SF} y w_{SE} , son los pesos asignados a cada subíndice. Por defecto se propone una ponderación igual a $w=1/3$.

¿Por qué se asigna un peso igual ($w=1/3$)?

En este cálculo, inicialmente se asignan pesos iguales a cada subíndice ($w_{SR}=w_{SF}=w_{SE}=1/3$) (ajutable según criterios locales), por las siguientes razones:

- i. **Equilibrio entre dimensiones:** Se considera que la Resiliencia, Fragilidad y Exposición tienen igual importancia para evaluar la vulnerabilidad ambiental en términos generales. Esto garantiza que ninguna dimensión tenga un impacto desproporcionado en el resultado del IVA.
- ii. **Falta de especificidad en prioridades:** En áreas donde no se especifica que una dimensión es más crítica que otra (por ejemplo, si la fragilidad es más relevante en ecosistemas específicos), la asignación igualitaria es la forma más neutral y objetiva de combinar los subíndices.
- iii. **Flexibilidad:** Asignar pesos iguales permite realizar ajustes posteriores. Si en futuras aplicaciones se determina que una dimensión debe tener mayor relevancia (por ejemplo, darle más peso a la Exposición en zonas urbanas), se puede modificar w para reflejar esa prioridad.

FASE VIII: Identificación del grado de riesgo

Nota: Para garantizar una adecuada clasificación del potencial pasivo ambiental minero y su nivel de riesgo, es fundamental realizar un estudio detallado de la probabilidad de ocurrencia del riesgo asociado a cada área evaluada. Este análisis permitirá identificar con mayor precisión el

modelo de gestión más adecuado para mitigar sus impactos. La evaluación debe considerar factores como la frecuencia de eventos adversos, la persistencia de los contaminantes, la interacción con otros elementos del ecosistema y la posible evolución del daño ambiental. Con base en estos resultados, se podrán diseñar estrategias específicas de intervención y restauración, asegurando una respuesta efectiva y sostenible a los riesgos identificados.

El IVA final se clasificará en rangos de vulnerabilidad y nivel de riesgo para la clasificación del potencial pasivo ambiental minero, teniendo en cuenta el resultado del cálculo, el cual será clasificado de acuerdo al rango en el que se encuentre (Tabla 8):

Categoría 1: Zonas de alto riesgo

En esta categoría se encuentran las áreas donde la actividad minera ha generado impactos severos y persistentes en el entorno natural, especialmente en zonas de importancia ambiental. Estas zonas se caracterizan por una transformación profunda de los ecosistemas, con pérdida significativa de la estructura y funcionalidad ambiental. Los daños incluyen contaminación crítica del agua, el suelo y el aire, así como una gestión inadecuada de los residuos sólidos. Además, estas áreas suelen estar asociadas con actividades mineras cercanas a cuerpos de agua y cauces, donde no se han respetado las normativas de uso del suelo, lo que genera conflictos ambientales y sociales. La recuperación en estas zonas es extremadamente difícil, requiriendo intervenciones integrales y detalladas que mitiguen los daños irreparables y reduzcan riesgos adicionales.

Categoría 2: Zonas de riesgo moderado

Las zonas en esta categoría presentan afectaciones significativas, pero con un nivel de reversibilidad mayor que las zonas de alta vulnerabilidad. Aquí, los impactos incluyen contaminación moderada de recursos como el agua, el suelo y el aire, así como una degradación parcial del paisaje. Aunque se observa cierta pérdida de biodiversidad, en estas áreas comienzan procesos de recuperación, como la regeneración parcial de la cobertura vegetal. Estas zonas tienen un potencial para la restauración ambiental mediante la implementación de medidas específicas y sostenibles que permitan acelerar los procesos naturales de recuperación y minimizar los riesgos de futuros impactos.

Categoría 3: Zonas de riesgo bajo

En esta categoría se agrupan las áreas donde los impactos de la minería son limitados y han dejado una huella menor en el entorno. Estas zonas muestran una afectación mínima en los sistemas ambientales y conservan una alta capacidad de resiliencia. Los recursos, como el agua, el suelo y el aire, se mantienen en buen estado, con niveles de contaminación insignificantes o controlados.

En estas áreas, los ecosistemas suelen estar en procesos avanzados de recuperación o ya estabilizados. La intervención humana debe centrarse en la conservación de estos espacios y en la prevención de nuevas actividades que puedan comprometer su estabilidad ambiental a largo plazo.

Tabla 14

Rangos de clasificación sobre el nivel de riesgo y vulnerabilidad ambiental.

Rango	Nivel de Vulnerabilidad	Nivel de riesgo
0.0 - 0.33	Baja vulnerabilidad	Bajo
0.34 - 0.66	Media vulnerabilidad	Moderado
0.67 - 1.0	Alta vulnerabilidad	Alto

Nota. Una vez obtenidos los cálculos sobre los índices contemplados en la metodología de valoración de vulnerabilidad ambiental, se debe comparar el resultado obtenido con la tabla presentada para la identificación de la categoría de riesgo que representa. Fuente: Autor

Validación del modelo en un caso de estudio

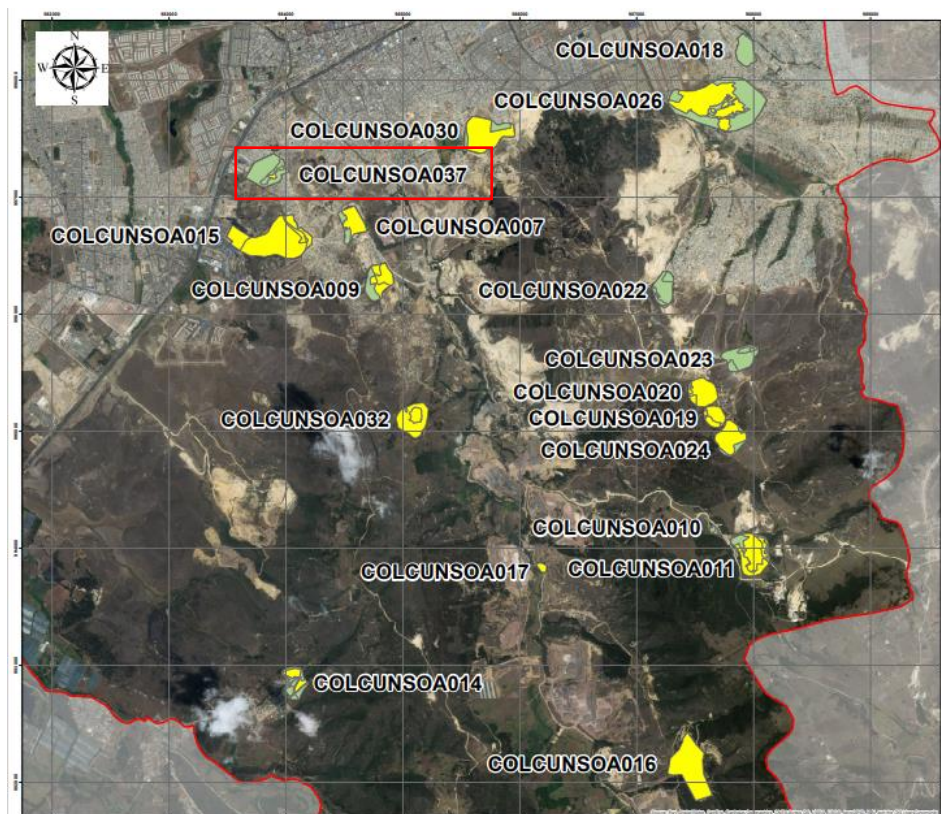
El área objeto de estudio, corresponde a una AMEA identificada dentro del diagnóstico sobre áreas mineras en estado de abandono presentes en el municipio de Soacha departamento de Cundinamarca, realizado por la Universidad Industrial de Santander (UIS) en el 2017, en donde realizan la identificación de un total de 23 AMEA. Entre estas, la AMEA identificada como CONCLUSOA37, la cual se ubica dentro del distrito minero de la Sabana de Bogotá y será el área objeto de estudio para realizar la caracterización sobre su estado de vulnerabilidad ambiental y nivel de riesgo, teniendo en cuenta el conocimiento previo del autor sobre su existencia y algunos

datos relevantes aplicables a la ficha de diagnóstico y para la cual no existen antecedentes documentales desde el componente minero ni ambiental.

En el siguiente mapa temático, obtenido de los archivos adjuntos del estudio de la UIS sobre la identificación de AMEA en Soacha (figura 7), señalado dentro del polígono rojo en la parte superior izquierda, la AMEA objeto de este caso de estudio.

Figura 7

Ubicación espacial del diagnóstico sobre áreas mineras en estado de abandono presentes en el municipio de Soacha departamento de Cundinamarca por la UIS, 2017.



Nota. En la figura se observa el mapa obtenido de la georeferenciación de las AMEA identificadas por el equipo de la UIS, ubicadas en el municipio de Soacha (área sin sombreado). Fuente: Equipo SIG-UIS, 2017, lo cual correspondería al cumplimiento de las fases I, II en consecuencia III, de la metodología de identificación de potenciales PAM.

Posteriormente se procede a dar cumplimiento a la fase IV de georeferenciación y/o mapeo de la zona objeto de estudio. En este caso, se hace uso de la herramienta de Google Maps para la identificación del punto que corresponde a la AMEA la cual fue visitada por el autor y de la cual se pretende realizar el diagnóstico de los componentes ambientales que la integran para establecer su nivel de riesgo (figura 8).

Figura 8

Ubicación espacial del área objeto de estudio para el diagnóstico de situación de riesgo



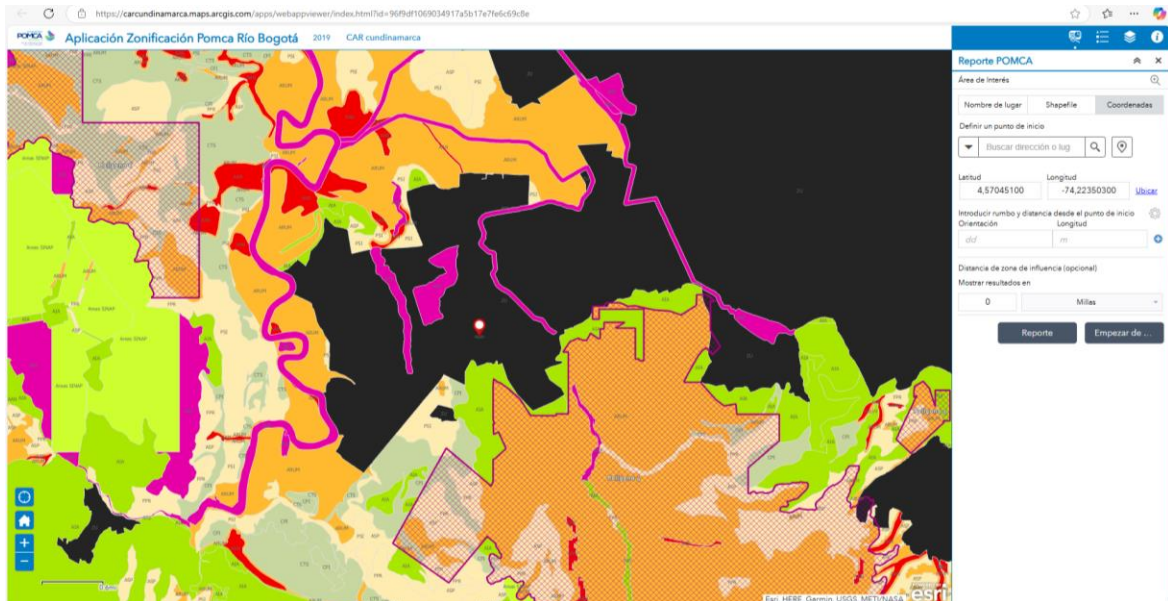
Nota. En la figura se observa el mapa obtenido mediante Google Maps de la georeferenciación de las AMEA identificada en el estudio de la UIS de 2017, cuya área aproximada es igual a 7.951 m²

Posteriormente, se procede a realizar la consulta de los instrumentos de ordenamiento ambiental que influyen sobre el punto identificado en el caso de estudio, que para el caso corresponde al POMCA del Río Bogotá. Esta consulta, fue realizada mediante la herramienta en línea disponible por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, dando clic en el enlace de [Aplicación zonificación POMCA Río Bogotá \(cartografía\)](https://carcundinamarca.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=96f9df1069034917a5b17e7fe6c69c8e) (https://carcundinamarca.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=96f9df1069034917a5b17e7fe6c69c8e) , encontrando la categoría de ZONA URBANA, para el punto estudiado y el cual puede ser evidenciado en la

figura 9, con un reporte completo sobre la clasificación del suelo en el anexo 2 del presente documento de investigación.

Figura 9

Ubicación espacial del área objeto de estudio para el diagnóstico de situación de riesgo



Nota. En la figura se observa el mapa obtenido en la [Aplicación zonificación POMCA Río Bogotá \(cartografía\)](#), en donde, mediante el icono de ubicación diferenciado en rojo en el centro de la imagen, se superpone en ZONA URBANA.

Una vez identificado el tipo de suelo a nivel de ordenamiento ambiental en el que se encuentra el área de estudio, se procede a realizar la caracterización de los componentes que integran la AMEA (figura 10), mediante el uso de la ficha diagnóstica propuesta en la presente ruta metodológica (figura 11).

Figura 10

Vista general mina abandonada en el municipio de Soacha






Nota. Velandia, L. (2020) área intervenida y abandonada por minería superficial en el municipio de Soacha (fotografía). En colección privada del autor.

De los datos obtenidos de la fuente del diagnóstico de AMEA de la UIS, junto con la caracterización tomada en campo por el autor, a continuación, se describe el estado en términos generales de la mina abandonada desde hace aproximadamente 30 años, objeto de este caso de estudio (tabla 15).

Tabla 15

Descripción general del estado de la mina abandonada, objeto del caso de estudio.

ASPECTO	DESCRIPCIÓN	FIGURA (Fuente: UIS, 2017)
Geomorfológico	Identificación de laderas estructurales. Elementos antropogénicos: cortes verticales, explanaciones de cantera, cerros remanentes de minería.	
Morfodinámico	Erosión en cárcavas y caída de rocas. Condiciones para deslizamientos y caída de bloques en taludes y cerros remanentes. Materiales intercalados (areniscas y lodolitas) con inclinación hacia la pendiente.	
AMEA (Aspectos Mineros)	Cantera de construcción de 120 m de alto, 300 m de ancho y 200 m de profundidad.	

	<p>Actividad minera suspendida hace 30 años aprox.</p> <p>Muro de contención presente.</p>	
Uso del suelo	<p>Uso urbano con capacidad clase VII.</p> <p>20% sin cobertura, 70% áreas urbanas, 10% cobertura baja.</p> <p>Vegetación: pastos limpios, arbustos y árboles dispersos.</p>	
Infraestructura	<p>Sin estructuras asociadas a minería.</p> <p>Presencia de un gavión.</p>	
Asentamientos Humanos	<p>Barrio Divino Niño Primer y Segundo Sector.</p> <p>77 viviendas en riesgo no mitigable.</p> <p>Sistema de alcantarillado y drenajes superficiales en zona de asentamientos urbanos.</p>	
Aspectos Sociales	<p>Dos asentamientos en la Comuna Seis.</p> <p>Problemas sociales: alucinógenos, microtráfico, prostitución, violencia intrafamiliar.</p> <p>Vectores y plagas: zancudos, cucarachas, ratas.</p> <p>Olores ofensivos por aguas negras.</p> <p>No se evidenciaron cuerpos hídricos dentro de la AMEA</p>	
Movilidad	<p>Vías de evacuación limitadas.</p> <p>Vía de acceso no pavimentada.</p> <p>Tránsito peatonal y vehicular.</p>	
Servicios Básicos	<p>Ausencia de acueducto y saneamiento completo.</p> <p>Basuras recolectadas por vehículos municipales, pero acumulación en sectores altos.</p> <p>No dependen de minería.</p>	

Actividades Económicas	Ingresos por confección, ventas informales y otras actividades.
Educación y Salud y Demografía	Centros educativos disponibles. Centro de salud San Marcos con baja disponibilidad de citas médicas. Total, habitantes: 542

Nota. La información presentada, corresponde a los datos obtenidos dentro del estudio diagnóstico de AMEA de la UIS del 2017 y datos recolectados por el autor insitu.

A continuación, tomando como base la información secundaria obtenida del documento diagnóstico de AMEA de la UIS, junto con los datos obtenidos en campo por el autor, se procede a hacer el diligenciamiento de la ficha diagnóstica planteada para la fase V, teniendo en cuenta la descripción de los componentes descritos en la fase VI de la ruta metodológica planteada, cuyo resultado puede evidenciarse en el anexo 3 del documento.

Figura 11

Formulario diligenciado con la caracterización de los componentes ambientales de la zona de estudio.

Nota. Datos legibles en el anexo 3 del presente documento.

Ejecución fase VII, de la ruta metodológica: A continuación, con base en los parámetros establecidos en la fase VII, se procede a ponderar los criterios identificados en campo sobre los componentes descritos de la siguiente forma:

1. Subíndice de Resiliencia (SR)

Indicadores:

1. Fuentes hídricas intervenidas:

- Afectación de sistemas hídricos.
- Escala asignada: **0**

2. Recuperación de cobertura de tierras:

- Cobertura de tierras: 20 % sin cobertura, 10 % con vegetación baja y 70 % urbanizada.
- La recuperación es baja (<50 %).
- Escala asignada: **1**.

3. Capacidad del uso del suelo:

- Clase VII (fuertes pendientes y erosión severa).
- Escala asignada: **1**.

Cálculo del SR:

Usando una ponderación igual para los tres indicadores:

$$SR = (1 \times 0) + (1 \times 1) + (1 \times 1) / 3 = 2 / 3 = 0.6$$

2. Subíndice de Fragilidad (SF)

Indicadores:

1. Áreas naturales protegidas cercanas:

- Sin mención de áreas protegidas cercanas (>10 km).
- Escala asignada: **0**.

2. Fragmentación del ecosistema:

- La urbanización y extracción minera han fragmentado significativamente (>50 % de pérdida de hábitat).
- Escala asignada: **1**.

3. Presencia de drenajes ácidos:

- No se mencionan explícitamente, pero hay erosión severa y cárcavas que sugieren riesgo moderado.
- Escala asignada: **0.2**.

Cálculo del SF:

Usando una ponderación igual para los tres indicadores:

$$SF = (1 \times 0) + (1 \times 1) + (1 \times 0.2) / 3 = 1.2 / 3 = 0.4$$

3. Subíndice de Exposición (SE)

Indicadores:

1. Proximidad a fuentes contaminantes:

- Exposición a urbanización cercana y antiguas actividades mineras (0-2 km).
- Escala asignada: **0.6**.

2. Cobertura de áreas urbanizadas:

- 70 % urbanizada.
- Escala asignada: **1**.

3. Nivel de actividad minera previa o actual:

- Área afectada por actividades mineras suspendidas, con remanentes de la minería.
- Escala asignada: **1**.

Cálculo del SE:

Usando una ponderación igual para los tres indicadores:

$$SE = (1 \times 0.6) + (1 \times 1) + (1 \times 1) / 3 = 2.6 / 3 = 0.8$$

4. Cálculo del Índice de Vulnerabilidad Ambiental (IVA)

Usando pesos iguales para los tres subíndices:

$$IVA = SR + SF + SE / 3$$

Sustituyendo los valores calculados:

$$IVA = 0.6 + 0.4 + 0.8 / 3 = 1.8 / 3 = 0.6$$

5. Clasificación del IVA

Según los rangos establecidos:

- **0-0.33:** Baja vulnerabilidad.
- **0.34-0.66:** Moderada vulnerabilidad.

- **0.67-1:** Alta vulnerabilidad.

Resultado: El área evaluada tiene un **nivel de vulnerabilidad media ambiental (0.6)**, lo que corresponde a un nivel de riesgo moderado.

A continuación, en la tabla 16, se muestra la matriz que organiza los atributos tenidos en cuenta dentro del modelo metodológico para su ponderación en el caso de estudio en Soacha.

Tabla 16

Ponderación de aspectos ambientales, para la caracterización de un potencial pasivo ambiental minero en Colombia - estudio de caso Soacha.

IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS			NIVEL DE AFECTACIÓN				VALOR	$\sum(P_i \times V_i) / \sum P_i$
"PONDERACIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES, PARA LA CARACTERIZACIÓN DE UN POTENCIAL PASIVO AMBIENTAL MINERO EN COLOMBIA-ESTUDIO DE CASO SOACHA" RANGOS DE PONDERACIÓN 0: Condición ideal o sin impacto. 1: Condición de máximo impacto o riesgo.			CATEGORIA			VALOR		
			SIN AFECTACIÓN	AFECTACIÓN MODERADA	AFECTACIÓN ALTA			
FACTORES AMBIENTALES			CALIFICACIÓN			PUNTAJE		
RESILIENCIA	Fuentes hídricas intervenidas	0	0			0	0,666666667	
		20-50%						
		>50 %						
	Recuperación de cobertura de tierras	>90 %				1		
		50-90 %						
		<50 %			1			
	Capacidad de uso del suelo	Clases I-II				1		
		Clases III-V						
		Clases VI-VIII			1			

FRAGILIDAD	Áreas naturales protegidas cercanas	>10 km	0			0	0,4
		2-10 km					
		<10 km					
	Fragmentación del ecosistema (hábitats alterados)	<10 %				1	
		10-50 %					
		>50 %			1		
	Presencia de drenajes ácidos	Ausente	0,2			0,2	
		Moderado					
		Alto					
EXPOSICIÓN	Proximidad a fuentes contaminantes	>10 km				0,6	0,866666667
		2-10 km		0,6			
		<2 km					
	Cobertura de áreas urbanizadas	<10 %				1	
		10-50 %					
		>50 %			1		
	Nivel de actividad minera previa o actual	Nula				1	
		Intermedia					
		Alta			1		
TOTAL							0,644444444

Rango	Nivel de Vulnerabilidad	Nivel de riesgo
0.0 - 0.33	Baja vulnerabilidad	Bajo
0.34 - 0.66	Media vulnerabilidad	Moderado

0.67 - 1.0	Alta vulnerabilidad	Alto
------------	---------------------	------

Nota. En esta tabla se muestra el resultado obtenido de la ponderación de los aspectos encontrados en campo, en contraste con la categoría de riesgo. Fuente:
Autor

Discusión

El desarrollo de un modelo metodológico de gestión ambiental para la identificación de potenciales pasivos ambientales mineros (PAM) en Colombia, representa un avance significativo en la gestión de problemas históricos y emergentes relacionados con la minería. Esta investigación surge en respuesta a una problemática persistente. La minería, aunque ha sido una actividad económica clave para el desarrollo del país, también ha generado profundas afectaciones en los ecosistemas y las comunidades que habitan las regiones mineras. Estas afectaciones, derivadas de prácticas antitécnicas, la falta de restauración de áreas intervenidas, y la minería informal o también denominada ilegal, han contribuido a la acumulación de PAM que representan riesgos ambientales y sociales graves. En este contexto, el modelo planteado no solo busca identificar y caracterizar los PAM, sino también proponer estrategias para su priorización y manejo.

El objetivo general de la investigación, que es proponer un modelo metodológico de gestión ambiental que permita la identificación y caracterización de PAM en Colombia, se cumple plenamente al estructurar un enfoque integral que abarca todas las etapas necesarias para abordar esta problemática. Este modelo considera las particularidades del contexto colombiano y se apoya en prácticas internacionales adaptadas a las limitaciones locales, como la falta de información actualizada, la dispersión institucional entre otras. Además, se asegura de cumplir con cada uno de los objetivos específicos planteados, lo que garantiza su aplicabilidad y relevancia en el país.

Cumplimiento del objetivo general

El modelo metodológico responde al objetivo general al integrar herramientas prácticas y enfoques teóricos que permiten identificar, evaluar y priorizar áreas mineras impactadas. Al considerar fases como la identificación, clasificación, georreferenciación, caracterización y análisis de vulnerabilidad, el modelo ofrece una solución estructurada que no solo diagnostica la magnitud del problema, sino que también facilita la toma de decisiones informadas para su gestión. La incorporación de tecnologías como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y

el desarrollo del Índice de Vulnerabilidad Ambiental (IVA) refuerzan la capacidad del modelo para generar resultados objetivos y reproducibles.

Cumplimiento de los objetivos específicos

Análisis de la normativa vigente

Se realizó un análisis exhaustivo de la normativa colombiana e internacional relacionada con la gestión ambiental y los PAM. Este análisis permitió identificar vacíos normativos, como la falta de lineamientos específicos para la restauración de áreas impactadas por minería en abandono, y se adaptaron prácticas exitosas de países como Perú quien tiene desarrollada una metodología explícita al contexto colombiano. Esto establece un marco normativo claro como referencia para la implementación del modelo, garantizando su alineación con la Ley 2327 de 2023 y destacando la necesidad de una mayor integración institucional.

Presentación de elementos clave para el modelo metodológico

El modelo propuesto define una ruta metodológica que incluye las fases críticas necesarias para la identificación y gestión de los PAM: recopilación de información documental, clasificación inicial, georreferenciación y mapeo, caracterización ambiental y análisis de vulnerabilidad. Estas fases estructuradas garantizan un enfoque sistemático y eficiente para evaluar las condiciones de las áreas mineras impactadas, facilitando su priorización y manejo.

Formulación de una ficha diagnóstica

Se desarrolló una ficha diagnóstica adaptada al contexto colombiano, basada en estándares internacionales como el Manual de Inventario de Minas Abandonadas del ASGMI. Esta herramienta permite recopilar información técnica y ambiental clave sobre componentes como calidad del agua, suelos, biodiversidad y uso del suelo. La ficha estandariza la recolección de datos en campo, asegurando la comparabilidad y fiabilidad de la información para análisis posteriores.

Presentación de un método de valoración de vulnerabilidad ambiental

El Índice de Vulnerabilidad Ambiental (IVA) desarrollado integra factores de resiliencia, fragilidad y exposición, proporcionando un método cuantitativo para evaluar el nivel de riesgo de las áreas impactadas. Este índice se diseñó con indicadores específicos para el contexto minero, como la fragmentación del ecosistema, la proximidad a fuentes contaminantes y la capacidad de recuperación de los suelos entre otros. En el caso de estudio realizado en Soacha, el IVA arrojó un nivel de vulnerabilidad clasificado como riesgo medio, validando su capacidad para priorizar áreas de atención y orientar intervenciones estratégicas.

Validación del modelo metodológico con un caso de estudio

La aplicación del modelo en el municipio de Soacha, en la Sabana de Bogotá, permitió demostrar su eficacia y relevancia en un contexto real. Este caso de estudio destacó las capacidades del modelo para integrar datos técnicos, geoespaciales y normativos, logrando identificar las principales áreas de impacto ambiental y clasificar su nivel de riesgo. El puntaje obtenido de vulnerabilidad ambiental media reflejó condiciones moderadas de deterioro que requieren atención específica para evitar su progresión.

Resultados integrales del caso de estudio

El caso de estudio en Soacha evidenció la aplicabilidad práctica del modelo metodológico. Mediante el uso de la ficha diagnóstica y el análisis del IVA, se identificaron problemas clave, como la fragmentación del ecosistema, el deterioro de la calidad del suelo y la proximidad de las áreas afectadas a fuentes de contaminación. Los resultados obtenidos no solo validaron la metodología, sino que también proporcionaron información valiosa para priorizar acciones de remediación. El nivel de riesgo medio identificado subraya la necesidad de implementar medidas específicas de restauración, pero también demuestra que estas áreas tienen potencial para ser rehabilitadas con intervenciones oportunas.

Impacto del modelo y contribución a la sostenibilidad

El modelo metodológico no solo representa un avance técnico en la gestión de los PAM, sino que también tiene importantes implicaciones sociales y ambientales. Al reducir los riesgos de contaminación y promover futuras prácticas relacionadas con la restauración de las áreas

impactadas, el modelo contribuye a mejorar las condiciones de vida de las comunidades locales y a fomentar actividades económicas sostenibles como la agricultura y el ecoturismo entre otras. Además, al alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), este enfoque promueve la sostenibilidad a nivel regional y nacional, abordando objetivos como agua limpia (ODS 6), ciudades sostenibles (ODS 11), acción por el clima (ODS 13) y vida de ecosistemas terrestres (ODS 15).

Recomendaciones y perspectivas futuras

El modelo plantea importantes oportunidades para mejorar la gestión ambiental en Colombia. Se recomienda fortalecer la coordinación interinstitucional y la capacidad técnica de las entidades ambientales, promover la participación comunitaria en la identificación y manejo de los PAM, y desarrollar tecnologías avanzadas como análisis de big data para optimizar la recolección y análisis de datos. A futuro, este modelo podría ampliarse a otras regiones del país, ajustándose a las particularidades locales y escalando sus beneficios a nivel nacional.

En síntesis, el modelo metodológico representa un paso significativo hacia la sostenibilidad ambiental en el sector minero. Su diseño integral, que incorpora componentes normativos, técnicos y sociales, tiene el potencial de transformar las áreas impactadas en oportunidades para el desarrollo sostenible, reconociendo la importancia de equilibrar el progreso económico con la protección ambiental y el bienestar de las comunidades afectadas.

Trabajo Futuro

A partir de los hallazgos y limitaciones identificadas en esta investigación, se plantean diversas líneas de trabajo futuro que podrían fortalecer y ampliar el impacto del modelo propuesto.

En primer lugar, es esencial validar el modelo metodológico en diferentes regiones del país. La diversidad geográfica, los distintos tipos de minería y las dinámicas sociales y económicas de las comunidades afectadas, hacen necesario la incorporación de ajustes específicos al modelo. Estudios piloto en otras regiones del país, podrían proporcionar información valiosa para perfeccionar el enfoque metodológico.

La investigación interdisciplinaria también se perfila como una prioridad. Aunque este trabajo se centró en los aspectos técnicos y ambientales, es fundamental abordar las dimensiones socioeconómicas y de salud pública asociadas a los PAM. Esto incluye evaluar los costos indirectos de la inacción, como la pérdida de productividad agrícola o los impactos en la salud de las comunidades, así como identificar oportunidades para promover actividades económicas sostenibles en las áreas restauradas.

Otra área clave de desarrollo es el fortalecimiento de la normativa y las políticas públicas. Es imperativo avanzar en la reglamentación específica para la gestión de PAM, basada en la Ley 2327 de 2023. Esta normativa debe incluir lineamientos claros para la identificación, priorización y restauración de áreas afectadas, así como incentivos para que las empresas mineras adopten prácticas responsables. Además, la integración del modelo en planes de ordenamiento territorial y estrategias de cambio climático podría potenciar su impacto.

El uso de estudios especializados de laboratorios, así como el uso de tecnología avanzada, también debe ser un componente central del trabajo futuro. Herramientas como sistemas de información geográfica (SIG), inteligencia artificial y análisis de big data tienen el potencial de optimizar los procesos de identificación y monitoreo de PAM. Asimismo, la investigación en tecnologías de remediación, como la fitorremediación o la estabilización química de suelos, podría mejorar la eficiencia y reducir los costos de las intervenciones.

La participación comunitaria debe consolidarse como un eje fundamental en la gestión de PAM. En el futuro, se deben diseñar programas de educación ambiental y sensibilización que empoderen a las comunidades locales, permitiéndoles participar activamente en los procesos de diagnóstico y restauración. Además, la implementación de modelos de gobernanza local que integren a las comunidades en la toma de decisiones, garantizará una mayor sostenibilidad de las intervenciones.

Finalmente, es crucial establecer sistemas de monitoreo y evaluación a largo plazo. Esto incluye, desarrollar indicadores específicos para medir el éxito de las acciones implementadas tanto en términos de recuperación ambiental, como de mejora en la calidad de vida de las comunidades. Estos sistemas también deben permitir ajustes dinámicos a las estrategias, basados en los resultados observados y en la evolución de las condiciones locales.

En conjunto, estas líneas de trabajo futuro no solo refuerzan los avances logrados, sino que también abren nuevas oportunidades para transformar la gestión de los pasivos ambientales

mineros en Colombia. La combinación de investigación, tecnología, participación comunitaria y fortalecimiento institucional promete consolidar un enfoque integral y sostenible que contribuya al bienestar ambiental y social del país.

Conclusiones

El desarrollo del modelo metodológico para la gestión de pasivos ambientales mineros (PAM) en Colombia ha permitido establecer un marco integral que aborda las múltiples dimensiones de una problemática compleja, cumpliendo de manera efectiva con los objetivos propuestos en esta investigación. Este trabajo ha logrado estructurar un enfoque que combina herramientas técnicas, análisis normativos y la incorporación de perspectivas sociales, destacando la relevancia de los PAM desde una perspectiva sostenible.

A través del cumplimiento del objetivo general, este modelo ofrece una herramienta metodológica integral para identificar y caracterizar las áreas afectadas por la minería en estado de abandono o con condiciones de riesgo. Se priorizó un enfoque que no solo permite diagnosticar el estado de estas áreas, sino que también establece criterios claros para su manejo y restauración, integrando aspectos normativos y técnicos en un marco práctico y replicable.

En cuanto al cumplimiento de los objetivos específicos, se lograron avances significativos que consolidan la propuesta metodológica presentada:

La revisión exhaustiva de la legislación nacional y de experiencias internacionales en países como Perú, Chile, Brasil y Argentina, que permitieron identificar vacíos en la regulación colombiana y el manejo de los PAM en Latinoamérica en general, especialmente en términos de asignación de responsabilidades y estrategias de remediación. Este análisis normativo no solo ofreció un marco de referencia robusto, sino que también destacó la necesidad de ajustar la normativa para abordar las particularidades del contexto colombiano, como la dispersión geográfica de las áreas afectadas y las dinámicas de minería informal.

Se diseñó una estructura clara y funcional que incluye fases esenciales como la identificación, clasificación, caracterización, georreferenciación y análisis de vulnerabilidad ambiental. Este enfoque permite abordar de manera sistemática las principales dimensiones de

los PAM, asegurando una comprensión integral de los riesgos asociados y facilitando la priorización de intervenciones.

Se desarrolló una herramienta práctica y estandarizada para la recopilación de información técnica y ambiental de las áreas afectadas. La ficha de diagnóstico, basada en estándares internacionales como el Manual de Inventario de Minas Abandonadas del ASGMI, permite caracterizar de manera precisa los componentes bióticos y abióticos de los sitios evaluados, garantizando la consistencia y utilidad de los datos recopilados.

El Índice de Vulnerabilidad Ambiental (IVA) desarrollado constituye una innovación clave en la metodología. Este índice integra factores de resiliencia, fragilidad y exposición para clasificar las áreas según su nivel de riesgo. En el caso de estudio realizado en el municipio de Soacha, el IVA arrojó un nivel de riesgo medio, validando su eficacia como herramienta para priorizar intervenciones y orientar decisiones basadas en evidencia.

La aplicación del modelo en un caso de estudio permitió demostrar su aplicabilidad y relevancia en un contexto real. El análisis realizado en Soacha reflejó condiciones moderadas de vulnerabilidad ambiental, lo que subraya la necesidad de implementar medidas específicas para prevenir un mayor deterioro. Este ejercicio práctico también permitió identificar áreas de mejora en el modelo, reforzando su capacidad para ser replicado en otras regiones del país.

Adicionalmente, el análisis comparativo con casos internacionales aportó valiosas lecciones que enriquecieron la propuesta metodológica, destacando la importancia de contar con un marco normativo sólido y herramientas diagnósticas efectivas. Sin embargo, el contexto colombiano presenta desafíos únicos, como la fragmentación institucional y la falta de recursos técnicos y financieros, que requieren ajustes específicos y fortalecimiento de capacidades locales.

Persisten limitaciones importantes que deben ser abordadas en el futuro. La falta de una normativa específica para los PAM en Colombia y la resistencia de ciertos sectores privados representan barreras significativas para la implementación uniforme del modelo. Estas limitaciones subrayan la necesidad de fomentar un marco de gobernanza ambiental más robusto y de fortalecer las capacidades institucionales y financieras.

Este trabajo, demuestra que es posible transformar una problemática histórica en una oportunidad para avanzar hacia un desarrollo más sostenible. Más allá de su valor técnico, el modelo metodológico planteado tiene el potencial de reconciliar el desarrollo económico con la protección ambiental y el bienestar social. Este esfuerzo no solo resalta la urgencia de actuar frente a los PAM, sino que también establece un precedente para futuras investigaciones y adaptaciones para que sigan perfeccionando la gestión ambiental en el sector minero colombiano.

Referencias

Arboleda González, J. A. (2005). Manual para la evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades. Medellín, Colombia.

Asociación Colombiana de Minería (2020). Verdades sobre los aportes del sector minero a la economía del país. Recuperado de: <https://acmineria.com.co/verdades-sobre-los-aportes-del-sector-minero-a-la-economia-del-pais/>

Asociación Colombiana de Minería-ACM. (2021). Minería en cifras. Recuperado de: <https://acmineria.com.co>

Avalos-Ramírez, Y. J. (2023). Contaminación por plomo en suelo, agua, alimentos y sus efectos en los seres humanos. *Revista de Investigación de la Universidad La Cantuta*, 10(2), 1-10. <https://doi.org/10.36955/RIULCB.2023v10n2.006>

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (1994). Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente. Recuperado de: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=30667>

Bravo, C., & Olivero-Verbel, J. (2020). Metales pesados: Fuentes y su toxicidad sobre la salud humana. *Revista de Salud Pública*, 22(3), 1-10. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/342869232_METALES_PESADOS_FUENTES_Y_SU_TOXICIDAD_SOBRE_LA_SALUD_HUMANA

Chia, L. (2020). Pasivos Ambientales Mineros en Colombia [Tesis de posgrado]. Recuperado de:
<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/37280/ChiaPintoLauraAlejandra2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Clark, W. C., & Parson, E. A. (2000). Assessing vulnerability to global environmental risk. Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard University.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2024). Guía para priorizar y evaluar proyectos de remediación ambiental: Gestión de pasivos mineros. Recuperado de:
<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/fcb14522-065c-4ff2-b4f4-54b40871bb69/content>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2022). Avances institucionales y normativos para la gestión integral de pasivos ambientales. Recuperado de:
<https://www.cepal.org/es/publicaciones/47771-avances-institucionales-normativos-la-gestion-integral-pasivos-ambientales>

Conesa Fernández-Vítora, V. (2009). Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. Ediciones Mundi-Prensa.

Constitución Política de Colombia (Const.). Art 79 de julio de 1991 (Colombia).

Congreso de la República (2023). Ley 2327 de 2023. Por medio de la cual se establece la definición de pasivo ambiental, se fijan lineamientos para su gestión y se dictan otras disposiciones.

Congreso de la República (2001). Ley 685 de 2001. Por la cual se expide el Código de Minas y se dictan otras disposiciones.

Congreso de la República (2015). Ley 1753 de 2015. Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 “Todos por un nuevo país”.

Congreso de Colombia. (2018). Ley 1930 de 2018, por medio de la cual se dictan disposiciones para la gestión integral de los páramos en Colombia. Diario Oficial No. 50.820.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=92602>

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) & Universidad Nacional de Colombia. (2018). Guía ilustrativa sobre análisis de la vulnerabilidad territorial ante el cambio climático: Propuesta metodológica para los entes territoriales de la jurisdicción CAR. Bogotá, D.C.: CAR y Universidad Nacional de Colombia.

Espinosa Nieto, M., & Lizcano Africano, C. D. (UIS) (2017). Estudio diagnóstico sobre áreas mineras en estado de abandono presentes en un municipio del departamento de Cundinamarca y algunos municipios del departamento de Bolívar.

Fredy, G. (2020). Pasivos Ambientales Mineros: hacia una gestión sostenible. Visión Global en Latinoamérica. Recuperado de: https://asgmi.org/wp-content/uploads/2020/09/02-FINAL-Objetivos_GEPAM-1.pdf

Global Tailings Review. (2020). Estándar global sobre gestión de relaves para la industria minera. Recuperado de https://globaltailingsreview.org/wp-content/uploads/2020/08/global-industry-standard_ES.pdf

Godfrid, J., Poo Cifuentes, P., Palmisano, T., & Fuentes Pereira, C. (2024). Pasivos ambientales mineros en Chile: Insumos y propuestas para una gestión sostenible. Ediciones Universidad Autónoma de Chile.

González, B. (2018). Impacto de la minería informal en la Sabana de Bogotá. *Revista de Ciencias Ambientales*, 10(2), 45-56.

Guzmán et al. (2020). Manual para el inventario de minas abandonadas o paralizadas. Recuperado de: <https://asgmi.org/wp-content/uploads/2020/06/Manual-Inventario-PAM-y-Anexos.pdf#page9>

Infante, C. (2011). Pasivos ambientales mineros: Barriendo bajo la alfombra. Observatorio de Conflictos Mineros de América Latina.

Instituto Geológico y Minero de España (IGME). (2006). Drenaje ácido de mina. Recuperado de: https://info.igme.es/SidPDF/113000/258/113258_0000001.pdf

Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH). (s.f.). Tema de minería: Enfermedades respiratorias. Recuperado de <https://www.cdc.gov/spanish/niosh/mining/topics/enfermedades.html>

Londoño-Franco, L. F., Londoño-Muñoz, P. T., & Muñoz-García, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Boletín de Salud Ambiental*, 14(2), 145-153. Recuperado de <https://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf>

MapBiomás Amazonía. (2024, 18 de enero). La ganadería es el principal factor de pérdida de vegetación en la mitad de Sudamérica. Recuperado de <https://amazonia.mapbiomas.org/2024/01/18/la-ganaderia-es-el-principal-factor-de-perdida-de-vegetacion-en-la-mitad-de-sudamerica/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Investigación científica y sociológica respecto a los impactos de la actividad minera en los ecosistemas del territorio colombiano. Recuperado de: https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Diagnostico_de_la_informacion_ambiental_y_social_respecto_a_la_actividad_minera_y_la_extraccion.pdf

Ministerio de Minas y Energía. (2022). Gestión y manejo de estériles en minería. Recuperado de <https://www.minenergia.gov.co/documents/7137/gestion-manejo-esteriles-mineria-mme-2022.pdf>

Ministerio de Salud y Protección Social. (s.f.). Minería y Salud Ambiental. Recuperado de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/abece-mineria.pdf>

Magaña, V. (2013). Guía metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad ante el cambio climático. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático & Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). México.

Mejía, H. G. (2011). Problemática de los pasivos ambientales mineros en Colombia. *Gestión y Ambiente*, 14(1), 5–16. Recuperado de:
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/36286/37829>

Madero Gutiérrez, L. L. (2021). Caracterización de las amenazas y vulnerabilidades en áreas mineras en estado de abandono – AMEA como elementos fundamentales para la evaluación de riesgos [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Javeriana]. Recuperado de:
<http://hdl.handle.net/10554/54282>

Mendocilla, V. H. (2019). La minería informal y su impacto en la contaminación ambiental [Trabajo de investigación]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de:
<http://hdl.handle.net/11537/22282>

Mongabay Latam. (2017, julio). Más de 2600 especies en Colombia están amenazadas, la deforestación no se detiene. Recuperado de https://es.mongabay.com/2017/07/especies-amenazadas-colombia-deforestacion/?utm_source=chatgpt.com

Mongabay Latam. (2023). Ríos en riesgo: minería provoca cambios profundos en afluentes de todo el mundo. Recuperado de <https://es.mongabay.com/2023/09/rios-en-riesgo-mineria-provoca-cambios-en-afluentes-de-todo-el-mundo-estudio/>

Organización Mundial de la Salud. (2010). Exposición al plomo: una importante preocupación de salud pública. Recuperado de <https://www.who.int/ipcs/features/lead.pdf>

Sánchez, M. & Cañón, M. (2010). Impacto de la minería en la calidad del agua y biodiversidad acuática. *Revista de Estudios Ambientales*, 12(3), 45-58.

Universidad Javeriana. (2020). Caracterización de las amenazas y vulnerabilidades en áreas mineras. Recuperado de

https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/54282/Tesis_riesgos_AMEA.pdf?sequence=1

Universidad Nacional Abierta y a Distancia. (2020). Problemática ambiental generada por el drenaje ácido de mina en la biosfera. Recuperado de:

<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/36759/skarismendyv.pdf?sequence=3>

Anexos

Anexo 1. Ficha Diagnostica de caracterización de un potencial PAM.

Anexo 2. Informe sobre áreas de importancia ambiental dentro del POMCA del Río Bogotá, del punto caso de estudio.

Anexo 3. *Formulario diligenciado con la caracterización de los componentes ambientales del caso de estudio.*