

Diagnóstico de la problemática de los pasivos ambientales mineros (PAM) producto de la extracción de materiales de construcción en Mondoñedo, departamento de Cundinamarca

Diagnosis of the Problem of Mining Environmental Liabilities (PAM) resulting from the Extraction of Construction Materials in Mondoñedo, Department of Cundinamarca

Andrés Felipe Ruiz Ortíz¹
Juan David Adame Rodríguez²
Juliam Andrés Valera Maya³
Luis Carlos Araujo Medina⁴
Luis Carlos Díaz Muegue⁵
Nelly Yolanda Cespedes Guevara⁶

¹ Fundación Universitaria del Área Andina. Email: Arui58@estudiantes.areandina.edu.co

² Fundación Universitaria del Área Andina. Email: juadame@areandina.edu.co

³ Fundación Universitaria del Área Andina. Email: jvalera3@estudiantes.areandina.edu.co

⁴ Fundación Universitaria del Área Andina. Email: laraujo@areandina.edu.co

⁵ Fundación Universitaria del Área Andina. Email: Ldiaz164@areandina.edu.co

⁶ Fundación Universitaria del Área Andina. Email: ncespedes@areandina.edu.co

 OPEN ACCESS



Copyright:

©2024. La revista *Ingenierías USBmed* proporciona acceso abierto a todos sus contenidos bajo los términos de la licencia [creative commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) Atribución no comercial SinDerivar 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)

Tipo de artículo: Investigación.

Recibido: 01-11-2022.

Revisado: 07-05-2024.

Aprobado: 20-07-2024.

Doi: 10.21500/20275846.6180

Referenciar así:

A. F. Ruiz Ortíz, J. D. Adame Rodríguez, J. A. Valera Maya, L. C. Araujo Medina, L. C. Díaz Muegue y N. Y. Cespedes Guevara, "Diagnóstico de la problemática de los pasivos ambientales mineros (PAM) producto de la extracción de materiales de construcción en Mondoñedo, departamento de Cundinamarca," *Ingenierías USBMed*, vol. 15, n.º 1, pp. 36–43, 2024.

Disponibilidad de datos:

todos los datos relevantes están dentro del artículo, así como los archivos de soporte de información.

Conflicto de intereses:

los autores han declarado que no hay conflicto de intereses.

Editor: Andrés Felipe Hernández.
Universidad de San Buenaventura,
Medellín, Colombia.

Resumen. El presente artículo hace referencia a los pasivos ambientales mineros (PAM) encontrados en una zona de Mosquera (Cundinamarca) llamada Mondoñedo, en donde a raíz de la explotación de materiales de construcción se han podido encontrar zonas en las que se necesita implementar una restauración, mitigación o compensación a un daño producido por actividades mineras inactivas; siendo los impactos ambientales más frecuentes los paisajes físicamente alterados, pilas de desechos, subsidencia, pérdida de fauna y flora. La metodología empleada en este diagnóstico en la primera fase partió de una revisión cualitativa que permitiera encontrar los elementos descriptivos necesarios y posteriormente se realizó un proceso de trabajo en metodología mixta. Los resultados obtenidos muestran que la vegetación de la zona estudiada se encuentra en un impacto moderado ya que sean implementado acciones para mitigar la zona de pasivo ambiental.

Palabras Clave. Pasivos ambientales, explotación minera, problemática ambiental.

Abstract. This article refers to the mining environmental liabilities (PAM) found in an area of Mosquera (Cundinamarca) called Mondoñedo, where as a result of the exploitation of construction materials, it has been possible to find areas where it is necessary to implement a restoration, mitigation or compensation for damage caused by inactive mining activities; being the most frequent environmental impacts physically altered landscapes, waste piles, subsidence, loss of fauna and flora. The methodology used in this diagnosis in the first phase was based on a qualitative review to find the necessary descriptive elements and then a mixed methodology work process was carried out. The results obtained show that the vegetation in the area studied is in a moderate impact since actions have been implemented to mitigate the area of environmental liabilities.

Keywords. Environmental Passives, Mining Exploitation, Environmental Issues.

I. Introducción

El proyecto de investigación se enfocó en el diseño de un modelo de reglamentación de los pasivos ambientales mineros. De acuerdo con [1] “El estudio de los pasivos ambientales mineros en Colombia constituye un tema poco desarrollado desde el punto de vista técnico-científico, político-institucional y en la práctica social, por ende, se percibe una precaria gestión ambiental y riesgos socionaturales de estos espacios degradado”, lo cual proporciona un elemento diferenciador en los procesos de formación del recurso humano. Lo anterior se vislumbran en el desarrollo de un proyecto de trabajo de grado de la Maestría de Gestión Ambiental con el apoyo de auxiliares de investigación del programa de Ingeniería de Minas de la Fundación Universitaria del Área Andina (sede Bogotá), que apunta a uno de los focos estratégicos institucionales: la innovación educativa, ya que los resultados de este proyecto mostrarán posibilidades desde escenarios de aprendizaje aplicados en la Ingeniería de Minas a partir de aspectos ambientales.

Uno de los problemas ambientales más comunes identificados en la minería a cielo abierto es la modificación del relieve, impacto y alteración dinámica de los procesos de ladera, los cuales generan un efecto nocivo a la comunidad circundante del complejo minero. En esa medida, son una oportunidad para el proyecto de investigación, dado que se puede implementar una serie de prácticas de carácter ecológico referidas a acciones relativas al manejo de la vegetación, con las que se busca el establecimiento de una comunidad vegetal en áreas designadas de la mina y su entorno.

Las minas abandonadas representan un pasivo ambiental de gran importancia para los países con vocación minera, las causas del surgimiento de estas minas son complejas y pueden no ser exclusivas de un territorio [2]. Sin embargo, el abandono resulta de fallas en la planificación del cierre de la mina a lo largo de la operación de la actividad, incluyendo marcos legales e institucionales insuficientes para exigir la implementación de acciones de cierre en cooperación con las comunidades impactadas; la incapacidad del ente regulador para exigir acciones de recuperación progresiva en el licenciamiento ambiental; motivos económicos, principalmente relacionados con la caída de los precios de las materias primas minerales y la pérdida de un mercado para ciertos bienes; la subestimación de lo esperado en costos y plazos de cierre, o falta de provisión de las etapas de cierre.

Muchos estudios han utilizado técnicas de teledetección para extraer información para el análisis de series temporales a través de la minería de datos espaciales y espectrales para comprender la vegetación [3], las estructuras y sus variaciones en el tiempo; uno de ellos es el índice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*).

II. Materiales y métodos

La metodología de este proyecto es cualitativa, en su primera fase, con el fin de orientarlo a una búsqueda y análisis de la información y datos relacionados de estudios previos acerca de la problemática ambiental de los pasivos mineros en Colombia y en el mundo, enfocándose en el análisis y estudio de áreas mineras abandonadas en Mondoñedo, en las que se explotaban materiales de construcción. En la siguiente fase se implementa la metodología cuantitativa con el fin de obtener los resultados de la evaluación y caracterización de los PAM encontrados en el área de estudio y de las respectivas conclusiones y recomendaciones, lo cual indica que se estará trabajando con una metodología de carácter mixto.

Para esta investigación se consideraron estudios previos para tener una visión más amplia del tema principal de investigación, tal como el estudio de [4], titulado: “La denominación de pasivo ambiental minero”. Este hace referencia a los impactos ambientales generados por las operaciones mineras abandonadas con o sin dueño u operador identificable y en donde no se ha realizado el cierre de minas reglamentado y certificado por las autoridades mineras y ambientales competentes. El estudio da a conocer detalles en aspectos relacionados con los pasivos ambientales mineros, de los cuales en Colombia aún no se tiene una reglamentación precisa que proporcione elementos de juicio para su análisis y caracterización.



Figura 1. Diseño metodológico propuesto

En la Figura 1 se describe el proceso metodológico empleado en la caracterización del estudio desarrollado, en donde se da cuenta del proceso de caracterización del trabajo de campo y el análisis de la información recolectada.

III. Identificación y caracterización del área de estudio

El área de estudio se localiza al Centro de Colombia, en la región Andina, departamento de Cundinamarca en el municipio de Mosquera en la vereda Balsillas, conocida como Mondoñedo, aproximadamente a 6 kilómetros del casco urbano. Se puede acceder desde Mosquera por la vía que conduce hacia la mesa, pasando por el sector denominado “los puentes”, son, aproximadamente, 12 kilómetros de vía pavimentada con destino a la vía Indumil. La zona del estudio cuenta con un total de 9 hectáreas catalogadas como pasivo minero ambiental.

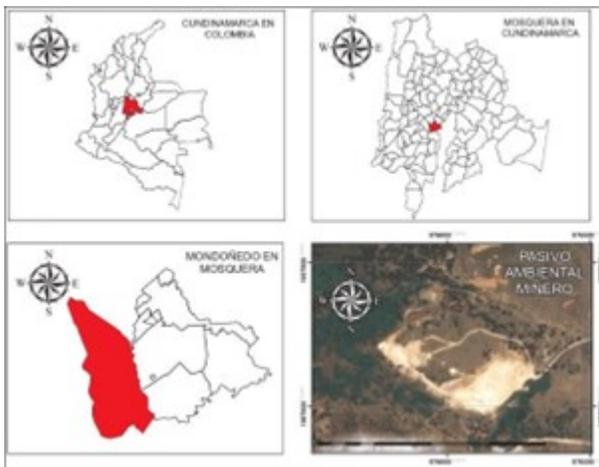


Figura 2. Localización geográfica del área de estudio



Figura 3. Imagen satelital donde se pueden apreciar los pasivos ambientales mineros encontrados

IV. Cierre y abandono minero en Colombia

Según [5], en el ejercicio de la actividad extractiva del sector minero colombiano se ha reconocido una inestabilidad y, por lo tanto, una inseguridad jurídica debido a fallas, desaciertos o imprecisiones en materia normativa o legislativa provenientes de las mismas autoridades ambientales en cabeza del Ministerio de Minas y Energía (MME) y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS); han sido la Corte Constitucional y el Consejo de Estado quienes mediante vía de jurisprudencia oportuna han impedido extralimitaciones y consecuencias socioambientales.

Para [6], el cierre de una mina es muy importante, pues debe prevenir impactos en el medio ambiente, en la estabilidad química y en la seguridad física del terreno donde dejará de posicionarse. Los efectos principales son la modificación de las geformas producto de las perforaciones, producción de materiales de desecho como los relaves o material estéril (escombreras), drenaje de ácidos y alteración del ecosistema.

La regulación de la actividad minera es profusa en algunos países de la región, mientras que en otros es escasa. Como en todo ordenamiento, existe un delicado

balance entre una excesiva regulación y su incumplimiento, ello debido a los altos costos de transacción y la laxitud regulatoria que impone costos sociales que subsidian a la actividad ligeramente regulada. Por otro lado, el ordenamiento de la actividad es complejo, pues esta no es homogénea, de modo que lo que se dispone para la gran minería no siempre es aplicable para la artesanal; incluso, dentro de cada una de esas categorías no es posible adoptar una regla única cuando la extracción minera se realiza en altura, a tajo abierto o en minas subterráneas, dado que los regímenes de explotación son diversos [7].

Las actividades de cierre de minas en los países de la región Andina de América Latina no han sido ajenas a este control. Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Chile cuentan con normas relativas a cierres, aun cuando varían en su obligatoriedad, profundidad y extensión. La geografía de los países impone énfasis diversos en cada uno. Por ejemplo, Colombia posee una serie de disposiciones relativas al cierre minero, pero aún no cuenta con una ley que abarque todos los temas propios del país como el cierre de minas en la pequeña minería, la minería ilegal, la minería en territorios desmovilizados por los grupos armados al margen de la ley o la insuficiente presencia institucional en vastas partes del país [8].

En la actualidad, Colombia muestra un gran compromiso con su sostenibilidad productiva, uno de estos objetivos se denomina “pacto por la sostenibilidad” y busca consolidar acciones que permitan un equilibrio entre la conservación y la producción, de forma tal que la riqueza natural del país sea apropiada como un activo estratégico de la Nación. Este plan de desarrollo implementa la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), así como los lineamientos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) en materia ambiental, lo que demuestra un compromiso del Estado con el desarrollo económico y social del país, pero siempre de la mano con la protección y conservación de los recursos naturales de la nación.

El proyecto de investigación está alineado con las políticas nacionales, departamentales y municipales en torno al crecimiento y desarrollo económico de la región con enfoque de sostenibilidad. Podemos destacar que el departamento de Cundinamarca, en su plan de desarrollo 2020–2023, estableció en sus ejes estratégicos programas que tienen como objetivo convertir al departamento en líder regional de la minería y producción sostenible e innovadora de energía, principalmente limpia y renovable, a través del apoyo en la ejecución de programas, proyectos y estrategias para hacer de este sector el más competitivo para el crecimiento social del territorio. Es así como el gobierno departamental propende por una minería sostenible, buscando que se ejecuten acciones que orienten el desarrollo de un modelo de sostenibilidad para la pequeña y mediana minería

a partir de la cooperación y la acción participativa para disminuir la fragilidad social y económica a la que se ven enfrentados los trabajadores de esta actividad a nivel departamental.

V. Identificación de los impactos ambientales no gestionados durante la etapa operativa minera

Para nadie es un secreto que la industria minera constituye uno de los ejes fundamentales de nuestra sociedad, que aporta gran parte de las materias primas relevantes para su desarrollo económico e industrial. La gran mayoría de los países en vías de desarrollo son mineros y/o agrarios en un sentido económico, social y cultural. La minería se convierte entonces no solo en una ocupación, sino en una forma de vida para la mayor parte de los habitantes. Por tanto, de lo bien o mal que hagamos las cosas hoy dependerá que las futuras generaciones puedan disfrutar de los beneficios o daños que les dejemos de herencia [9].

El desarrollo de la actividad minera lleva implícita la generación de impactos ambientales manifestados, principalmente, en el agotamiento de los recursos naturales no renovables, por lo que no es posible hablar de la realización de una minería sostenible [10]. De este modo, a nivel regional es común encontrar malas prácticas de operación y producción minera con un alto grado de incumplimiento de sus planes de manejo ambiental y de la normativa minera y ambiental vigente, en términos generales, en las explotaciones clasificadas de pequeña y mediana escala según la legislación Colombiana vigente. Este tipo de malas prácticas mineras en varias zonas de Mondoñedo, al norte del departamento de Cundinamarca, han conducido a una mala gestión de estos impactos y, por consiguiente, la generación de pasivos ambientales mineros que se pueden evidenciar a simple vista cuando se realizan recorridos por las inmediaciones de los frentes de explotación inactivos, clausurados o abandonados. [11] afirma que: “Las explotaciones mineras sostenibles, cuentan con políticas definidas en los aspectos económicos, sociales y ambientales”.

Según [12], el estudio de los pasivos ambientales mineros en Colombia constituye un tema poco desarrollado desde el punto de vista técnico-científico, político-institucional y en la práctica social; por ende, se percibe una precaria gestión ambiental y riesgos socionaturales de estos espacios degradados. La consecuencia es el rechazo de las comunidades a los nuevos proyectos de inversión minera en su territorio, debido a los conflictos ambientales que se generan en detrimento de la productividad, las inversiones, la salud, el arraigo cultural, la seguridad de las personas y la afectación de recursos naturales que inciden en la calidad de vida de la población.

La minería abandonada genera impactos ambientales y socioeconómicos negativos, graves, irreversibles,

permanentes y difíciles de mitigar o controlar. Entre los impactos ambientales más frecuentes de las minas abandonadas están: paisajes físicamente alterados, pilas de desechos, subsidencia, combustión espontánea de desechos de carbón, contaminación del agua, edificios y plantas abandonadas, y pérdida de vegetación y pozos abiertos. Constituyen fuentes de contaminación de aguas superficiales, subterráneas y del suelo debido a las filtraciones de ácido, lavado de metales, incremento de la sedimentación y por contaminación de hidrocarburos [13].

Aunado a lo anterior, los materiales dispuestos en escombreras y estériles junto a otras áreas que conforman los proyectos mineros, quedan geotécnicamente inestables, sensibles a procesos erosivos, desprovistos de vegetación y suelos alterados en su composición físicoquímica original, de allí que se dificulte el establecimiento de plantas nativas y colonizadoras, afectando directamente la vida silvestre [14].

Para [15], los impactos ambientales resultan relevantes para la industria minera y se manifiestan en diversas etapas de los proyectos. Inicialmente se deben someter a evaluaciones de impacto ambiental, unas más estrictas que otras, dependiendo del país y de la escala del proyecto. Aquellas áreas que deben ser sometidas a evaluación ambiental son los eventuales impactos a la calidad del aire, la calidad y cantidad de agua, al drenaje ácido minero, a los impactos sobre las tierras, los ecosistemas y la economía.

De las visitas de campo realizadas al área de estudio y luego de aplicar la metodología propuesta en la Guía Minero Ambiental del Ministerio de Minas y Energía para la identificación de impactos ambientales, pudimos determinar que el componente ambiental que presentó mayor afectación por la inadecuada y casi nula gestión de los impactos ambientales durante el periodo de extracción minera fue la vegetación, la cual presenta en la actualidad una disminución de la cobertura que existía con relación al año 2010, y que para el presente año apenas empieza a mostrar una leve recuperación. Se realizó el cálculo de la importancia de dicho impacto en función del valor asignado a los atributos considerados, obteniendo como resultado un valor moderado o normal de acuerdo con la tabla de valoración de importancia mostrada a continuación:

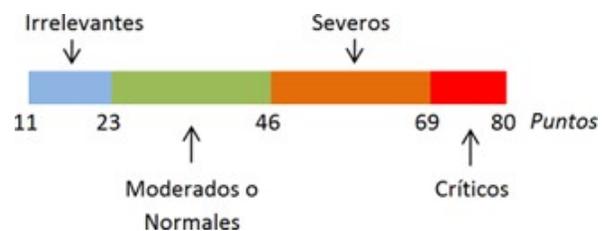


Figura 4. Escala de valoración de la importancia de los impactos ambientales

VI. Análisis del índice de vegetación de diferencia normalizada durante el periodo 2015-2022

Se realizó el análisis para medir el verdor y la densidad de la vegetación captada de imágenes satelitales extraídas del Servicio Geológico de Estados Unidos. El NDVI se puede usar para calcular la salud de las plantas a distancia, este puede revelar mucho sobre los distintos cambios en sus condiciones durante distintos periodos de tiempo.

El índice NDVI se aplica mediante la fórmula:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (1)$$

donde, *NIR*: Espectro infrarrojo cercano y *RED*: Rango rojo del espectro.

Como se puede observar, el índice *NDVI* se mide mediante la luz visible y la infrarroja, teniendo en cuenta los rangos de vegetación establecidos en los parámetros del software especializado ArcGIS. Los rangos establecidos son los siguientes:

- -1-0.1: Corresponde a las áreas sin vegetación.
- 0.1-0.23: Corresponde a pequeños arbustos y praderas.
- 0.23-0.35: Corresponde a vegetación poco densa.
- 0.35-Rangos superiores o MAX: Corresponde a vegetación densa.

Para el periodo de análisis del estudio se tomaron en cuenta imágenes satelitales extraídas del Servicio Geológico estadounidense, como se mencionó anteriormente, en los años 2015, 2018 y 2022.

VII. Evaluación y gestión de pasivos ambientales mineros

El concepto de sostenibilidad en la minería y la búsqueda de un mínimo número de pasivos ambientales mineros no solo requiere cumplir con los requerimientos legales, sino con los enfoques convencionales de acciones correctivas y preventivas para gestionar los impactos. Así, la sostenibilidad puede ser una estrategia para identificar oportunidades de negocio e innovación que subyacen a las problemáticas socioeconómicas y ambientales [16]. Las actividades de sostenibilidad más efectivas son aquellas que por sus características tienen mayor probabilidad de contribuir al desarrollo sostenible de la zona de influencia del proyecto, lo que a su vez aumenta la posibilidad de que, en el largo plazo, las generaciones futuras de la zona perciban los beneficios con posterioridad al cierre definitivo del proyecto minero [17].

Todas las acciones que se puedan ejecutar en relación con los pasivos ambientales en Colombia, principalmente en el área de Mondoñedo en Cundinamarca, deben estar dirigidas a los tres tipos de minería que se tienen en el país: pequeña, mediana y a gran escala. De esta forma

se debe contemplar la minería ilegal que corresponde a un gran porcentaje en el territorio y los actores armados que pueden estar desarrollando esta actividad, de los cuales no se identifican, en la mayoría de los casos, los titulares de la actividad o los infractores, lo que conlleva a la necesidad del fortalecimiento de las entidades de control para la vigilancia de la actividad minera, así como de la formalización de esta práctica. A partir de la identificación y puesta en marcha en los demás países de la gestión de los pasivos ambientales, se pueden orientar las acciones necesarias requeridas para implementar en nuestro país, acogiendo las prontitudes y aciertos [17].

Tal como lo señala [17], para entender la problemática de los PAM y el daño ambiental (actual o potencial) de una mina abandonada, deben considerarse varios aspectos como el tiempo, el espacio y la responsabilidad. El tiempo es un factor relevante, porque los daños son causados en el pasado y, en ocasiones, se han acumulado varios eventos. La estimación del espacio es importante, porque los daños se pueden dispersar y se deben delimitar las áreas de los inventarios de pasivos. Por último, está el asunto de la responsabilidad que, aunque legalmente es muy discutido, es un factor que habría que analizar desde el punto de vista del cumplimiento de las obligaciones mineras y ambientales.

Para [17], cada PAM se debe valorar y tratar individualmente. Dependiendo la afectación se puede elegir el método de valoración, no siempre un mismo método aplica a un determinado PAM, se debe evaluar y caracterizar. Es importante abordar más el tema de gestión de riesgo como eje estructurante en su evaluación. Se propone la tabla mostrada en la Figura 5 como herramienta para documentar la base de información técnica necesaria para el manejo y valoración de los PAM. La tabla recopila los resultados de diferentes metodologías.

Criterios para evaluar PAM	AFECTACIONES		RIESGO		VALORACIÓN ECONÓMICA			
	SI	NO	SI	NO	MÉTODO DIRECTO	MÉTODO INDIRECTO	BENEFICIO DE REMEDIACIÓN	COSTO DE REMEDIACIÓN
Suave								
Medio ambiente								
Patrimonio								

Ligero	Bajo	Bajo	Bajo
Moderado	Alto	Alto	Alto
Alto	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto

Figura 5. Matriz resumen de la información recolectada de PAM

La tabla está conformada por una primera columna donde están descritos los criterios a ser afectados por la presencia de PAM, para la segunda columna se pone la información referente a las afectaciones si existen o no y la calificación de cada afectación, la tercera columna es todo lo relativo al riesgo, en la cuarta se identifica el método de valoración implementado y, por último, se encuentra el manejo que se le da a cada PAM de acuerdo con la categoría de obligación.

VIII. Resultados y discusiones

Como resultado de la identificación de los impactos ambientales no gestionados más relevantes en el área de estudio, se obtuvo que el impacto correspondiente a la afectación de la cobertura vegetal, que se constituye en el pasivo ambiental representativo, tiene una naturaleza perjudicial o negativa de 23 puntos obtenidos de la evaluación realizada, tal como se muestra en la siguiente ficha de valoración de impactos:

Código Ficha:	# 1	Denominación del Impacto:	Afectación de la Cobertura Vegetal
Dimensión Ambiental:	Biótica	Componente Ambiental:	Vegetación
Actividades que ocasionaron el Impacto:	1. CONSTRUCCIÓN, ACIDENTE Y ADECUACIÓN DEL LUGAR 2. ARRANQUE, CARGUE Y TRANSPORTE DE MATERIALES 3. APERTURA DE ACCESOS Y VÍAS DE DESARROLLO 4. ADECUACIÓN DE PATIOS DE ACOSO 5. REMOSIÓN DE LA CAPA DE SUELO		
Descripción del Impacto:	La eliminación de la vegetación existente en el área de estudio, específicamente en las áreas donde otrora se llevaron a cabo las diferentes actividades mineras, ocasionó la pérdida de biomas y el consecuente desplazamiento de fauna asociada, además interrumpió el flujo de organismos a través de los corredores biológicos existentes y la consecuente eliminación de las zonas de vegetación.		
Atributo	Catificación	Ki	Justificación
1 Naturaleza (C)	Perjudicial	-	Se altera y se afecta de manera negativa la cobertura vegetal porque en su momento fue necesario para el desarrollo de las operaciones mineras.
2 Magnitud (MG)	Baja	1	El nivel de contaminación es bajo ya que las áreas intervenidas no son de grandes magnitudes.
3 Cobertura (CO)	Parcial	1	porque el efecto no se extiende hacia ninguna parte
4 Plazo de manifestación (PM)	Inmediato	4	Los efectos de la alteración de la cobertura vegetal se presentaron de inmediato, a medida que se fueron avanzando los labores mineros.
5 Duración (DR)	Largo Plazo	4	En la actualidad se siguen encontrando rastros de los eventos sucedidos para principios de la anterior década. Se trata precisamente del principal PAI encontrado en el área de estudio.
6 Severabilidad (EV)	Mediano Plazo	4	Los efectos producidos por esta actividad la naturaleza los puede contrarrestar en poco tiempo a partir de la actual fecha.
7 Recuperabilidad (RI)	Inmediata	1	Existen técnicas de manejo ambiental acordes con las necesidades del sitio afectado que permitirán minimizar los efectos de los impactos no permitidos.
8 Acumulación (A)	Simple	1	Los efectos no se acumulan.
9 Tipo (TI)	Directo	4	Los efectos en la cobertura vegetal son consecuencia directa de las operaciones mineras realizadas en el pasado.
Importancia del Impacto (I) =	$I = \pm (3MG + 2CO + PM + DR + EV + 2C + A + TI) = -23$ Unidades		
Clasificación del Impacto:	Moderado o normal		Identificación de Color del Impacto: Verde

Figura 6. Ficha de evaluación de la importancia del impacto “Afectación de la cobertura vegetal”

Como puede observarse, el índice de vegetación es un tema de alarma, ya que la zona de interés se muestra bastante afectada ambientalmente hablando, el motivo es una poca intensidad en la restauración al momento del cierre y el abandono de la mina.

En el año 2015, la zona de estudio y las regiones próximas a esta se ven bastante afectadas con poca o nula capa vegetal, lo cual representa un estado muy bajo de salud en el paisaje, siendo un fuerte indicativo la pigmentación naranja:

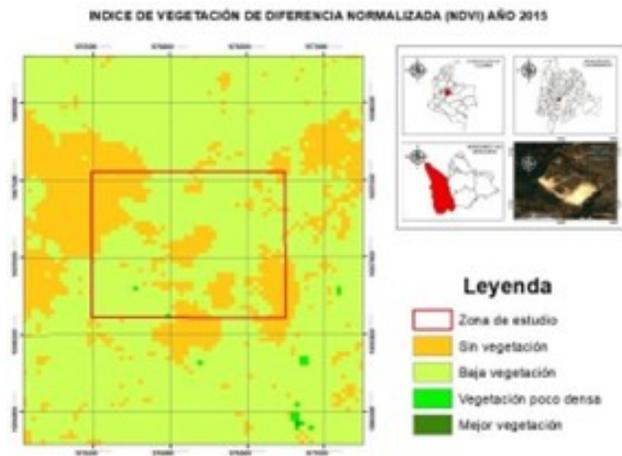


Figura 7. Índice de vegetación normalizada I

En el año 2018 se puede evidenciar una mejoría en regiones cercanas al área de estudio, 3 años después del análisis anterior se puede ver que el paisaje se recupera poco a poco, teniendo pigmentos cada vez más verdes, pero sin tener una mejoría notable en la zona de estudio:

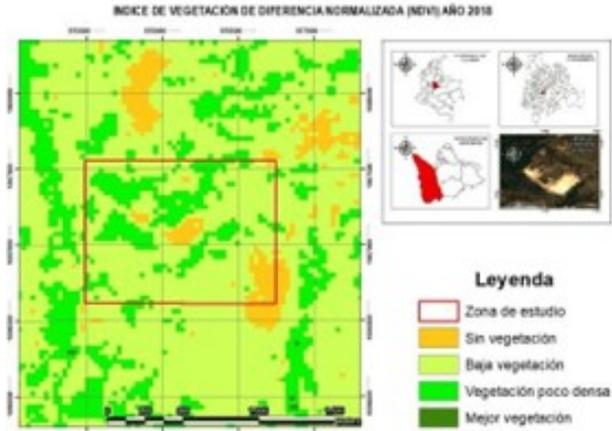


Figura 8. Índice de vegetación normalizada II

Para el año 2022, se puede observar cómo el paisaje vuelve a verse de una manera óptima y saludable con pigmentaciones verdes oscuras en regiones dentro del área de interés y próximas a la zona de estudio, conformada por algunas partes en donde la vegetación es densa y, en otras, poco densa. No obstante, la zona de interés presenta pigmentos muy claros, indicando la poca o nula vegetación que allí se encuentra:

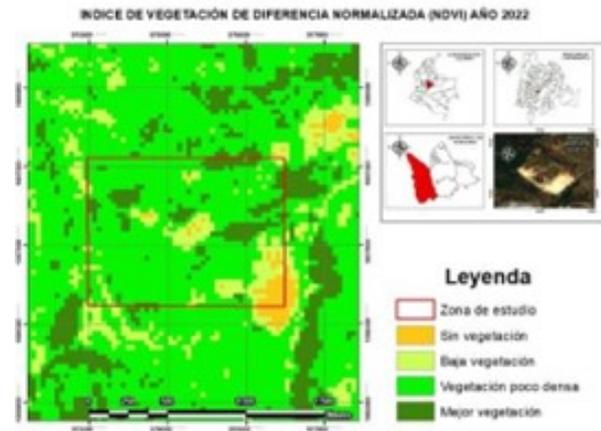


Figura 9. Índice de vegetación normalizada III

Para la elaboración de la matriz resumen mostrada en la Figura 5, inicialmente realizamos el proceso de identificación de las afectaciones mineras, si se presentan o no, y cuál de los componentes estaría causando la afectación. Seguidamente el equipo realizó la evaluación de los riesgos, basados en el análisis de las amenazas y la vulnerabilidad; finalmente, se realizó un estimativo de la valoración económica y de los posibles costos de

la remediación del área de estudio, de acuerdo con toda la información recolectada y obteniendo los resultados mostrados en las Figuras 10 y 11.

Criterios para evaluar PAM	AFECTACIONES MINERAS				RIESGO		VALORACIÓN ECONÓMICA			
	SI	NO	SI	NO	SI	NO	MÉTODO DIRECTO	MÉTODO INDIRECTO	BENEFICIO DE REMEDIACIÓN	COSTO DE REMEDIACIÓN
Agua										
Medio Biotico	X		X		X		X		X	X
Aire										
Suelo										
Paísaje										
Social y económico										

Figura 10. Resumen de los resultados de la metodología

COSTO	MANEJO DE LOS PASIVOS AMBIENTALES MINEROS				
	BENEFICIO	CUMPLIMIENTO	REMEDIAR	PAGAR MULTA	COMPENSAR
\$0.00			Agua		
\$20 000 000			Medio Biotico		
\$0.00			Suelo		
\$0.00			Paísaje		
\$0.00			Social y económico	No aplica	
\$0.00	Recuperación de áreas degradadas por actividades mineras anteriores.	De la normalidad			Daño generado por las actividades mineras antiguas.
\$20 000 000					

Figura 11. Resumen de los costos asociados al manejo de los PAM

El costo estimado del manejo del PAM encontrado es de \$20000000 (veinte millones de pesos, COP) para el manejo del componente vegetación. Este costo incluye los estudios necesarios y la compra de fertilizantes, plántulas y demás insumos necesarios para la restauración del área afectada.

IX. Conclusiones

Durante los trabajos de campo realizados y el correspondiente levantamiento de información primaria, se pudo establecer que el componente ambiental principalmente afectado por las actividades mineras otrora realizadas en el área de estudio, es la vegetación, la cual fue intervenida desde los inicios de las operaciones mineras y no se le dio el tratamiento o manejo ambiental respectivo para que con el pasar de los años la misma vegetación se recuperara por sí sola, es decir, este fue uno de los impactos ambientales no gestionados que dieron origen a este pasivo.

En la secuencia de las imágenes se puede evidenciar cómo a través del tiempo las regiones adyacentes a la zona de estudio se han ido restaurando poco a poco, siendo de un color verde cada vez más oscuro. Por otra parte, la zona de interés, y donde se encuentra el pasivo ambiental, no se encuentra al día de hoy en buenas condiciones, lo que evidencia que no se hizo un buen plan de cierre y abandono ligado a la restauración paisajística.

Uno de los hallazgos más relevantes fue el valor de la importancia de la afectación de la vegetación, el cual, con un valor de 23 unidades, nos muestra que es un impacto de tipo moderado, resultado similar al obtenido con la metodología utilizada para la caracterización del PAM encontrado que también fue de tipo moderado con una clasificación de riesgo bajo.

Luego de realizar el análisis económico correspondiente, pudimos determinar un estimativo de la inver-

sión que se requeriría para poder mitigar, corregir o compensar el pasivo ambiental minero dejado en el área de estudio por operaciones mineras antiguas.

X. Agradecimientos

Los autores reconocen la colaboración de la Fundación Universitaria del Área Andina en la participación de la convocatoria de investigación interna desarrollada durante el año 2022.

Referencias

- [1] A. L. Morales y M. Hantke Domas, “Guía metodológica de cierre de minas,” en *Documentos de Proyectos (LC/TS.2020/166)*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2020.
- [2] G. Aristizábal Hernández, “Modelo de gestión integral de la sostenibilidad para la industria minera en Colombia,” Tesis de Doctorado, Doctorado en Ingeniería - Ciencia y Tecnología de Materiales, Medellín, 2019.
- [3] M. Arango Aramburo e Y. Olaya, “Problemática de los pasivos ambientales mineros en Colombia,” *Gestión y Ambiente*, vol. 15, n.º 3, págs 125–133, 2012 [Online]. Available: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/36286>.
- [4] M. Arango Aramburo, *Requerimientos para el diseño de una metodología que permita estimar el valor de pasivos ambientales mineros*. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, 2011.
- [5] H. Ayala, “Impactos de la minería en la dimensión social,” en *Identificación y análisis de impacto de la actividad minera y explotación ilícita en los ecosistemas del territorio nacional, Sentencia T 445 de agosto de 2016 Investigación científica y sociológica respecto a los impactos de la actividad minera en los ecosistemas del territorio colombiano*, 2019 [Online]. Available: <http://www.humboldt.org.co/images/documento/s/3-identificacin-de-impactos-expertos.pdf>.
- [6] M. Boza y M. F. Montoya Pardo, *Sector minero en Colombia. Anuario iberoamericano de derecho minero: fundamentos jurídicos del sector minero en Iberoamérica*, 2020.
- [7] U. Carmona-García, H. Cardona-Trujillo e I. Restrepo-Tarquino, “Gestión ambiental, sostenibilidad y competitividad minera. Contextualización de la situación y retos de un enfoque a través del análisis del ciclo de vida,” *Dyna*, vol. 84, n.º 201, págs. 50-58, 2017.
- [8] A. Cerqueira, Y. Shimabukuro y M. Sobral, *Data Mining Using NDVI Time Series Applied to Change Detection*. Proceedings, 2018.
- [9] L. A. Chia Pinto, *Pasivos ambientales mineros en Colombia*, 2020.

- [10] Díaz, L. *et al.*, *Pasivos ambientales mineros en el territorio colombiano*. 2016.
- [11] P. R. M. Fernandes y H. M. de Lima, “A framework for ranking the environmental risk of abandoned mines in the state of minas gerais/-Brazil,” *Sustainability*, vol. 13, n.º 24, pág. 13 874, 2021. DOI: 10.3390/su132413874.
- [12] J. K. Fuerte Ayure y E. R. Ramirez Paez, *Pasivos ambientales mineros generados por actividades extractivas en Colombia: Marco jurídico, conflictos socioambientales y lineamientos para una gestión sostenible*, 2021.
- [13] García, C. *et al.*, *Evaluación y diagnóstico de pasivos ambientales mineros en la Cantera Villa Gloria en la localidad de Ciudad Bolívar, Bogotá D. C.* [Online]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/tecn/v18n42/v18n42a08.pdf>.
- [14] J. E. Guarín Ramírez, *Estado del arte de la minería sostenible en Colombia desde la perspectiva de la empresa*. Universidad de los Andes, 2012.
- [15] E. Guba y L. Y, “Competing paradigms in qualitative research,” en *Handbook of qualitative research*, N. K. Denzin e Y. S. Lincoln, eds., 2004, págs. 105-11.
- [16] M. Marrero y A. R. Fernández, *El cierre sustentable de las minas: necesidad impostergable*. Universidad de Matanzas, 2014.
- [17] J. F. Rueda Mijangos y P. Mercado Salgado, *Desempeño sustentable y resultados de excelencia administrativa en minas pétreas en el Estado de México*. Universidad de Mao-Cuba.