

**PROPUESTA DE ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN DE IMPACTOS
AMBIENTALES GENERADOS EN LA EMPRESA CUSMINING S.A.S EN
LA VEREDA FIRITA PEÑA - RÁQUIRA (BOYACÁ).**



DAILYS GISSEL CAÑON ALARCÓN

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
DIVISIÓN DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS
TUNJA-BOYACÁ

2025

**PROPUESTA DE ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN DE IMPACTOS
AMBIENTALES GENERADOS EN LA EMPRESA CUSMINING S.A.S EN
LA VEREDA FIRITA PEÑA - RÁQUIRA (BOYACÁ).**

DAILYS GISSEL CAÑON ALARCÓN

Documento final presentado en modalidad de pasantía para optar por el título de
Ingeniera Ambiental

Aprobado por:
ELISA MARÍA AVELLANEDA DÍAZ

Ingeniera ambiental y civil

Director(a)

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
DIVISIÓN DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS
TUNJA-BOYACÁ

2025

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado 1

Firma del jurado 2

Tunja ____ de Mayo de 2025

DEDICATORIA

A mis padres que son el pilar en mi vida, por su amor y sacrificio, este logro es tanto mío como suyo.

A Javier por su apoyo incondicional, por sus consejos y por creer en mí.

Los amo.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a la universidad Santo Tomás por abrirme las puertas y darme herramientas para crecer tanto de manera profesional como personal.

A la empresa MTC mi más sincera gratitud por concederme la beca que hizo todo que todo esto fuese posible y por darme la oportunidad de cumplir un sueño.

TABLA DE CONTENIDO

1	RESUMEN.....	10
2	INTRODUCCIÓN	10
3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
4	JUSTIFICACIÓN	11
5	OBJETIVOS	12
5.1.	Objetivo General.....	12
5.2.	Objetivos Específicos	12
6	MARCO REFERENCIAL	12
6.1.	Marco contextual	12
6.1.1.	Contexto de la organización	12
6.2.	Marco teórico	13
6.3.	Marco conceptual.....	14
6.4.	Marco legal	17
7	METODOLOGÍA	19
8	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	20
8.1.	OBJETIVO DE IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS	20
8.1.1.	Actividades a realizar para la extracción del mineral.....	20
8.1.2.	Operación de Sistema de Transporte Malacate – Cable – Skip.....	20
8.1.3.	Arranque con martillo neumático picador para avance de carbón o roca	21
8.1.4.	Perforación en frente de explotación	22
8.1.5.	Ejecución de voladura con indugel permisible y detonador en frente de explotación	22
8.1.1.	Descargue de roca o carbón de frente de desarrollo inclinado o nivel	22
8.1.2.	Instalación de tacos de madera de frentes de explotación	23
8.1.3.	Transporte por vagoneta de material (roca o carbón).....	23
8.1.4.	Operación de Sistema de Transporte Malacate – Cable – Skip.....	23
8.1.5.	Separación material estéril de material puro	24
8.1.6.	Disposición de material estéril en botadero.....	25
8.1.7.	Comercialización del mineral (Carbón)	25
8.1.8.	Servicios que se implementan para la extracción del mineral.....	25
8.1.9.	Operación de electrobombas centrífugas.....	26

8.1.10.	Monitoreo de gases bajo tierra con equipo multidetector	26
8.1.11.	Refuerzo y cambio de puertas por deterioro desgaste o ruptura	26
8.1.12.	Construcción de depósitos internos de agua	27
8.1.13.	Instalación de redes de desagüe	27
8.1.14.	Instalación de redes de aire comprimido	27
8.1.15.	Instalación de redes eléctricas.....	28
8.1.16.	Puesto en marcha de planta eléctrica	28
8.2.	OBJETIVO DE ANÁLISIS DE IMPACTOS AMBIENTALES	29
8.2.1.	Matriz causa y efecto.....	29
8.2.2.	Matriz Leopold	34
8.2.3.	EMP Arboleda	45
8.2.4.	Impactos ambientales generados por las actividades de extracción de carbón 54	
8.2.5.	Componente abiótico.....	54
8.2.6.	Componente biótico.....	56
8.2.7.	Componente socioeconómico.....	57
8.3.	OBJETIVO DE PLAN DE MITIGACIÓN DE IMPACTOS	59
8.3.1.	Programas de manejo ambiental.....	59
8.3.2.	Programa de Manejo del recurso hídrico.....	59
8.3.3.	Programa de Manejo del Paisaje	67
9	CONCLUSIONES	75
10	RECOMENDACIONES	75
11	REFERENCIAS	77
12	ANEXOS.....	81

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Matriz causa y efecto.....	30
Tabla 3. Calificación ambiental método EMP arboleda.....	46
Tabla 4. Presupuesto mano de obra.....	64
Tabla 5. Presupuesto insumos	64
Tabla 6. Presupuesto costos indirectos	64
Tabla 7. Presupuesto mano de obra.....	70
Tabla 8. Presupuesto insumos	71
Tabla 9. presupuesto costos indirectos	71

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ubicación geográfica del título minero empresa Sociedad Minera Cusmining S.A.S.....	12
Ilustración 2. Sistema de transporte Malacate	20
Ilustración 3. Entrada de sistema de transporte a bocamina.....	21
Ilustración 4. Arranque con martillo neumático para extracción de material	21
Ilustración 5. Descargue de roca o carbón de frente de desarrollo inclinado o nivel	22
Ilustración 6. Transporte por vagoneta de material (roca o carbón).....	23
Ilustración 7. Operación de Sistema de Transporte Malacate	23
Ilustración 8. Separación material estéril de material puro	24
Ilustración 9. Botadero de material estéril.....	25
Ilustración 10. Control de gases de bocamina	26
Ilustración 11. Identificación zonas de refuerzo.....	27
Ilustración 12. Redes de aire comprimido	27
Ilustración 13. Planta eléctrica.....	28
Ilustración 14. Calificación ambiental EMP arboleda.....	46
Ilustración 15. Dosificación diaria de cal en aguas residuales de la mina.....	65
Ilustración 16. Nivel de pH antes de tratamiento y después de tratamiento.....	66
Ilustración 17. Desarrollo de cunetaje con ladrillo y material reutilizado (Ducto de ventilación)	66
Ilustración 18. Recolección y separación de residuos	72
Ilustración 19. Mantenimiento, poda y embellecimiento de áreas verdes.....	73
Ilustración 20. Disposición de malla vegetal en talud intervenido.....	73
Ilustración 21. Aprovechamiento de llantas en sillas de descanso	73
Ilustración 22. Mantenimiento de cercas de delimitación con madera reutilizada.....	74

1 RESUMEN.

La empresa Sociedad Minera Cusmining S.A.S., ubicada en la vereda Firita Peña Arriba del municipio de Ráquira, se dedica a la explotación y comercio de carbón, a lo largo de su operación, ha generado diversos impactos ambientales que afectan los recursos naturales y la biodiversidad del entorno. Durante la intervención se identificaron todas las actividades relacionadas con la extracción minera y se evaluaron los impactos ambientales generados, utilizando metodologías como la matriz causa-efecto, la matriz de Leopold y el método EPM Arboleda. Estos instrumentos permitieron reconocer los impactos de mayor incidencia, a partir de los cuales se diseñaron y desarrollaron dos fichas de manejo ambiental, orientadas a mitigar los efectos negativos más relevantes.

Entre los resultados destacables se encuentra la aplicación de cal viva como tratamiento para mejorar la calidad del agua residual, logrando aumentar el pH de 2.5 a 6 y reducir el hierro disuelto de 3 mg/l a 0.7 mg/l. Adicionalmente, se implementó un programa de manejo paisajístico basado en la reutilización de residuos, lo cual ayudó a conservar el entorno natural y reducir costos operativos.

Como practicante, mi participación fue clave en el diseño y ejecución de estas acciones y se recomienda continuar con la implementación anual de las matrices de evaluación, fortalecer los programas desarrollados y mantener espacios para estudiantes en práctica, como aporte a la sostenibilidad ambiental y mejora continua de la empresa.

2 INTRODUCCIÓN

La empresa Sociedad Minera Cusmining S.A.S., constituida legalmente el 1 de febrero de 2013, lleva más de una década operando en la vereda Firita Peña Arriba del municipio de Ráquira, Boyacá. Su actividad principal se enmarca dentro del comercio al por mayor de combustibles sólidos, líquidos, gaseosos y productos conexos, bajo la figura jurídica de Sociedad por Acciones Simplificada (S.A.S.), y con el código CIIU 4661

Sin embargo, a lo largo de su trayectoria, la empresa ha enfrentado diversos desafíos relacionados con el impacto ambiental de sus actividades mineras, que han generado alteraciones en el suelo, el agua, la atmósfera y la biodiversidad del entorno. La ausencia de estrategias integrales para mitigar estos efectos negativos, sumada a una limitada identificación y análisis de los impactos específicos, ha dificultado el cumplimiento de las normativas ambientales vigentes y ha frenado el avance hacia un modelo de desarrollo sostenible.

Como respuesta a esta problemática, se plantea la elaboración de una matriz de evaluación de impactos ambientales, que permita identificar, clasificar y priorizar los efectos negativos generados por la actividad extractiva. A partir de los resultados obtenidos, se desarrollarán

programas de manejo ambiental enfocados en los impactos con mayor incidencia, con el fin de reducir su efecto sobre el entorno y fortalecer el cumplimiento ambiental de la empresa.

3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa Cusmining S.A.S., ubicada en la vereda Firita Peña del municipio de Ráquira, enfrenta actualmente una serie de impactos ambientales significativos derivados de sus actividades de extracción minera. Estos procesos, propios de la operación carbonífera, han generado alteraciones visibles en los principales componentes del entorno natural, afectando la calidad del suelo, los recursos hídricos, la atmósfera y la biodiversidad local. Estas afectaciones no solo comprometen la integridad de los ecosistemas circundantes, sino que también generan tensiones con la comunidad y aumentan el riesgo de deterioro ambiental progresivo.

A pesar de que existe una comprensión general sobre las repercusiones ambientales asociadas a la minería, la empresa no cuenta con estrategias integrales ni con herramientas técnicas adecuadas para mitigar de forma efectiva los impactos generados por sus operaciones. Esta situación se agrava por la ausencia de un análisis detallado y sistemático de los impactos específicos, lo que dificulta la priorización de acciones correctivas y la implementación de medidas de control ambiental pertinentes.

4 JUSTIFICACIÓN

La intervención en la empresa Cusmining S.A.S. responde a la necesidad de fortalecer su gestión ambiental mediante la aplicación de herramientas técnicas que permitan una evaluación rigurosa y objetiva de los impactos generados por sus actividades extractivas. En este sentido, la propuesta e implementación de una matriz de evaluación de impactos ambientales constituye un avance significativo, ya que facilita la identificación, valoración y priorización de los efectos negativos sobre el entorno, lo cual es fundamental para una toma de decisiones informada y responsable.

Paralelamente, se contempla el desarrollo de acciones de sensibilización y capacitación dirigidas al personal operativo, con el fin de promover la adopción de buenas prácticas ambientales que mejoren el desempeño ambiental de la empresa. Estas acciones contribuyen directamente a la conservación del recurso hídrico, la recuperación del paisaje en zonas intervenidas y la protección de la biodiversidad local, promoviendo una cultura organizacional más comprometida con el entorno.

De este modo, la intervención de la pasante aporta de manera concreta al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) N.º 12: Producción y Consumo Responsables, así como al objetivo del milenio enfocado en garantizar la sostenibilidad del medio ambiente. Todo esto en coherencia con los principios del desarrollo sostenible y el marco normativo ambiental vigente, alineando las operaciones de la empresa con una visión más responsable y sostenible del territorio.

5 OBJETIVOS

5.1.Objetivo General

Proponer estrategias de mitigación de impactos ambientales generados en la empresa Cusmining S.A.S en la vereda Firita Peña- Ráquira (Boyacá).

5.2.Objetivos Específicos

- Identificar los impactos ambientales generados en los procesos operativos de la empresa Cusmining S.A.S
- Analizar los impactos ambientales producidos por las actividades de la empresa Cusmining S.A.S.
- Diseñar una propuesta para mitigar impactos ambientales generados en la empresa Cusmining S.A.S.

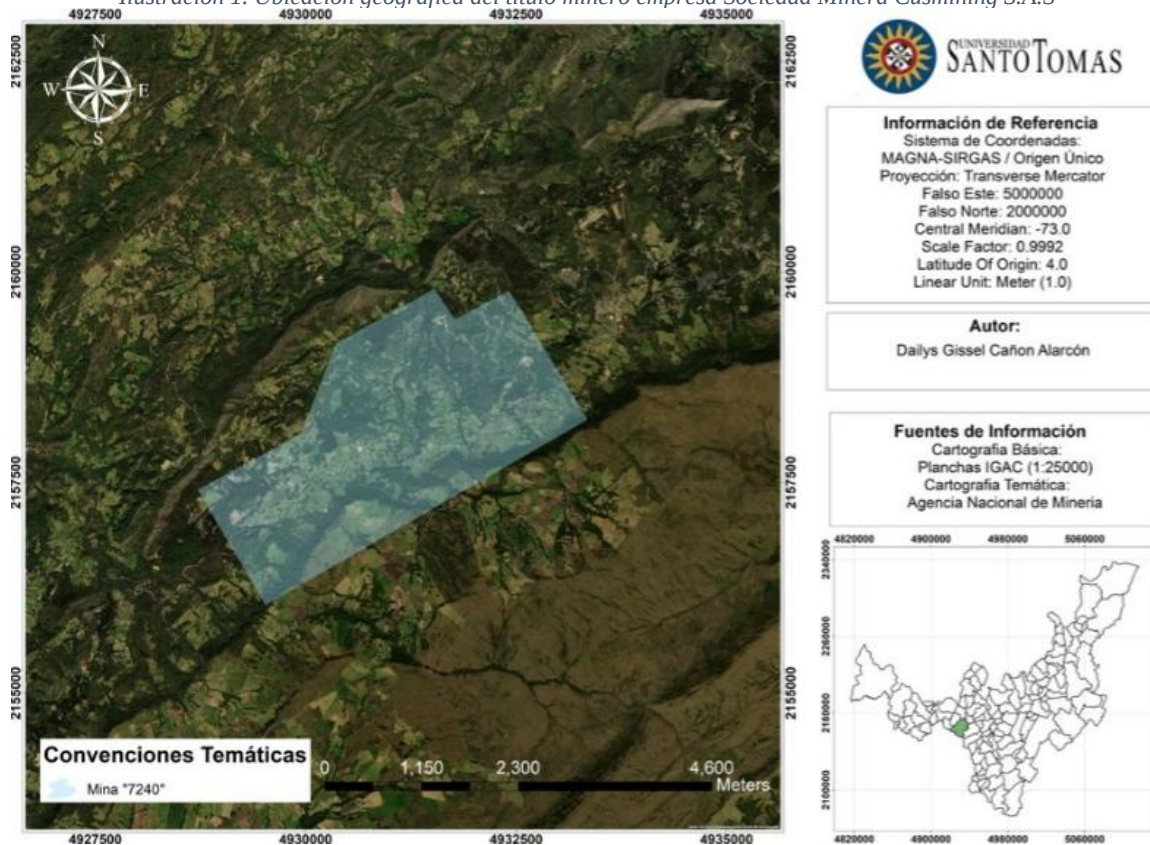
6 MARCO REFERENCIAL

6.1.Marco contextual

6.1.1. Contexto de la organización

El proyecto de explotación minera de carbón “empresa Sociedad Minera Cusmining S.A.S” identificado con el título minero 7240 de la vereda Firita Peña Arriba del municipio de Ráquira Boyacá, en la actualidad opera bajo el contrato de concesión (L-685), el cual se encuentra en etapa de explotación. Se accede directamente por la vía rural Samacá-Guachetá.

Ilustración 1. Ubicación geográfica del título minero empresa Sociedad Minera Cusmining S.A.S



6.2.Marco teórico

La explotación minera en Colombia ha presentado un incremento exponencial en las últimas décadas siendo reconocida como la actividad de origen antrópico que mayor genera impactos ambientales negativos en el medio ambiente. Dentro de distintos parques Nacionales Naturales de Colombia se llevan a cabo de manera ilegal actividades de minería, de igual manera en zonas como páramos, que son las principales fuentes de abastecimiento del recurso hídrico para las comunidades, afectando a aproximadamente 45. 000 hectáreas es decir al 3% de los páramos del país (Güiza Suárez, 2011).

En Colombia existen cuatro tipos de minería de carbón, entre estas están, minería de subsistencia en la cual no se llevan a cabo explotaciones subterráneas, no usa explosivos ni maquinaria, pequeña minería en la que es similar a la de subsistencia, mediana minería en donde se lleva a cabo la explotación minera a diario (300- 8000 Ton) y por último gran minería en donde empresas multinacionales se encargan de la explotación del mineral (Vargas et al., 2021).

El carbón es uno de los materiales combustibles que más produce Colombia, además del petróleo y los derivados del mismo, este es el que más produce ingresos debido a la exportación, asimismo, trae consigo diferentes beneficios tales como la generación de empleo, desarrollo económico y los dividendos económicos, no obstante, estos aspectos son los de menor importancia para las comunidades que se ven afectadas por la extracción del mineral, debido a que ésta es considerada como la que más genera contaminación en cada etapa de su producción (Castellanos, 2019).

A pesar de que la explotación minera de carbón se encuentra en auge y es una actividad cotidiana, aún no se ha logrado la aplicación de medidas de prevención y control para minimizar el impacto en la salud, social y ambiental (Iriarte, 2014). Cabe resaltar que el área minera es fundamental para el desarrollo económico a nivel nacional por sus exportaciones y además es el suministro de materia prima de numerosas industrias, igualmente es una fuente generadora de miles de empleos y a su vez es esencial para inversiones en la zona de energía (Vargas et al., 2021).

La contaminación producida por minería de carbón presenta una alta probabilidad de ingresar al suelo, en algunos casos, se generan altas concentraciones de contaminantes (Arsénico, manganeso, titanio, plomo) que generan riesgos potenciales en el factor biótico, abiótico, socioeconómico de los ecosistemas del páramo y en pobladores (Rodríguez Aparicio & Vergara Buitrago, 2021). A su vez, las actividades de extracción en minería son las principales causales de la contaminación a la atmosfera, en funciones como transporte además de la transformación para producir coque, debido a que son transportados libremente, por ende se exponen a cambios físico químicos de la atmosfera, hasta llegar a su destino (Ambiente, salud humana, clima) (Suarez, 2018).

En Boyacá se encuentra un aproximado del 18.5% de explotación minera del país, en el cual hay presente un gran nivel de informalidad, por ende es el departamento con más alta tasa de accidentalidad en minería de carbón por la falta de equipo de seguridad y condiciones riesgosas laborales, lo cual presenta un impacto social severo al generar empleo pero de maneras precarias arriesgando la vida de los trabajadores (Leguizamón et al., 2017).

Por otro lado la explotación minera no solo afecta directamente al medio ambiente sino también presenta un riesgo directo e indirecto a la salud pública; directo para los trabajadores que se encargan de la explotación del carbón quienes se exponen a enfermedades respiratorias y otras afecciones, e indirecto para los transeúntes que pueden llegar a presentar enfermedades respiratorias debido al smog y la polución que son factores agravados debido al cambio climático (Leguizamón et al., 2017).

Por otra parte la explotación minera en el municipio de Samacá contribuye a la generación de empleos, al financiamiento de obras de carácter social e impulsa el crecimiento económico del mismo mediante el comercio regional, sin embargo, por la alta demanda de carbón dicha explotación se ha intensificado de manera significativa generando una severa presión de carácter antrópica en el páramo, debido a los impactos ambientales negativos derivados de dicha explotación minera (Buitrago Betancourt, 2020).

Un estudio de salud pública en Samacá, Boyacá, revela una correlación entre los picos de producción de carbón y el aumento de enfermedades del sistema circulatorio, sugiriendo que la contaminación ambiental derivada de la minería podría estar vinculada a problemas de salud en la comunidad. La contaminación del aire y del agua son factores clave que, al estar presentes en las zonas de minería, pueden tener efectos severos en la sostenibilidad y calidad de vida de las poblaciones locales (Acosta Bueno, 2016). En conjunto, estos estudios destacan tanto los desafíos como las posibles soluciones para mitigar los impactos de la minería de carbón en Colombia, proponiendo desde la implementación de residuos industriales como materiales de construcción hasta la educación ambiental y la gestión sostenible en las regiones afectadas (Figueredo Mateus et al., 2015).

Los impactos por minería de carbón son considerables, estos se pueden llegar a mitigar o reducir pero generalmente se aplican las medidas de compensación ya que el impacto directo real no puede ser mitigado. La explotación minera genera diferentes residuos, entre ellos se encuentra la roca estéril la cual se destina en ciertas áreas denominadas botaderos, generando impactos ambientales de alta magnitud, para ello (Rodríguez et al., 2018) proponen una alternativa para el aprovechamiento de estéril al incorporarlo en morteros convencionales, en forma natural o calcinado disminuyendo significativamente los impactos generados por dicho residuo.

6.3.Marco conceptual

Carbón

Es un mineral orgánico (roca sedimentaria) y a su vez combustible, resultado de diferentes transformaciones de residuos o restos vegetales ubicados en zonas pantanosas, este se forma debido al cambio progresiva a lo largo de los años, el cual se implementa en los diferentes procesos productivos de la actualidad (Castellanos, 2019).

Explotación minera

Conglomerado de diferentes actividades que tienen como fin la búsqueda, extracción y explotación de minerales que se encuentran en el subsuelo, para obtener como resultado su comercialización en el mercado (servicio geológico, 2017).

Contrato de concesión

Es un tratado entre un particular y el estado, en donde se asume la responsabilidad y el riesgo de llevar a cabo estudios, exploración y explotación de los recursos minerales que son propiedad del estado dentro de un área o zona específica, dicha explotación minera se realiza bajo la disposición establecida por el código de minas (*Agencia Nacional de Minería ANM | Administración, Fomento, Promoción y Fiscalización de la Minería Nacional*, s. f.).

Infraestructura minera

Son las instalaciones necesarias para llevar a cabo el proceso de explotación, extracción, proceso y transporte de minerales, incluyendo las estructuras físicas, tecnológicas y logísticas que implemente la empresa, lo cual permite el desarrollo eficiente de la ocupación minera (Damonte et al., 2022).

Explosivo

Es una combinación o mezcla de químicos los cuales se descomponen de manera rápida lo que genera altas presiones y temperaturas (*Decreto 1886 de 2015 - Gestor Normativo*, s. f.).

Botadero

Es una zona de disposición final (depósito) de material estéril (roca) resultado de las perforaciones y voladuras en frente de explotación del mineral. Su objetivo es la disposición adecuada de los residuos sólidos, con el fin de minimizar los impactos ambientales negativos y a su vez garantizar la estabilidad de dicho terreno (Ortiz et al., 2025).

Matriz de Leopold

Es un método para la identificación y evaluación de impactos ambientales de las actividades de proyectos en desarrollo, lo que permite llevar a cabo un análisis de la relación e interacciones entre las acciones del proyecto y los componentes entorno (Ponce, s. f.)

Impacto ambiental

Es una alteración al medio ambiente de manera directa o indirecta dado por actividades de humanas y/o proyectos, el cual puede ser negativo o positivo teniendo en cuenta su repercusión en el medio ambiente, lo cual depende de la magnitud y de la forma en que afecta al mismo (Perevochtchikova, 2013).

Impactos residuales

Son aquellos impactos que permanecen en el medio ambiente a pesar de haber implementado medidas de mitigación y prevención, los cuales a largo plazo generan afectaciones al medio ambiente (Gonzales, 2020).

Medidas de compensación

Son actividades correctivas que retribuyen planes correctivos a la zona o comunidad afectada por las actividades generadas por un proyecto, los cuales no pueden corregirse ni mitigarse, (García-Álvarez García, 2022).

Medidas de control

Acciones que se toman con el fin de asegurar que las actividades de un proyecto se lleven a cabo de manera correcta, para minimizar riesgos y a su vez asegurar que se cumpla con la normatividad legal vigente de operaciones y seguridad (Barbutto, 2022).

Medidas de prevención

Tienen como objetivo prever y anticiparse a la aparición de impactos ambientales negativos, asegurando que las actividades de los proyectos se lleven a cabo de manera sostenible con el medio ambiente con el fin de asegurar que se efectúe el menor daño posible (Galván Rico & Reyes Gil, 2009).

Ficha ambiental

Es un documento técnico fundamental en el proceso de evaluación de impactos ambientales (EIA), el cual concede la identificación, análisis y caracterización de impactos ambientales generados por las actividades realizadas en un proyecto, partiendo de esto, se establece la evaluación de los diferentes impactos ambientales, además de sus posibles afectaciones y a su vez se establecen medidas de prevención mitigación y compensación con el fin de minimizar dichos impactos (Carvajal, 2019).

Gestión ambiental

Procedimiento destinado a la protección sostenible del medio ambiente mediante la prevención, mitigación y reducción de impactos ambientales generados por las actividades de un proyecto, por medio de las herramientas de control y evaluación siendo base fundamental para el desarrollo sostenible (Bermúdez, 2019).

Componente biótico

Organismos vivos que hacen parte de los ecosistemas, los cuales interactúan de manera continua con su entorno empleando roles como de producción, consumo y descomposición, los cuales establecen diferentes tipos de relaciones entre sí y a su vez con los ecosistemas (Sangüesa-Barreda et al., 2015).

Componente abiótico

Son elementos no vivos los cuales influyen directamente el desarrollo y equilibrio de los ecosistemas, estos comprenden los diferentes componentes físicos y son fundamentales para la determinación de los factores ambientales (García Feria et al., 2019).

Componente socioeconómico

Es un aspecto donde se relacionan directamente las actividades económicas con las características sociales de una comunidad, donde se incluyen factores como el empleo, salud, educación, el acceso a recursos, la política, servicios e infraestructura, entre otros (Echavarren, 2024).

Gestión de residuos

Conjunto de actividades, procesos y estrategias necesarias para el adecuado manejo y separación de residuos generados por las diferentes actividades humanas, desde que estos son producidos hasta obtener su aprovechamiento o eliminación, con el objetivo de reducir los impactos ambientales originados por estos (Aroni, 2024).

Mitigación ambiental

Son acciones y estrategias que se implementan con el objetivo de la reducción de impactos negativos generados por las actividades humanas que afectan al medio ambiente, previniendo el deterioro de los recursos naturales y del mismo, garantizando un equilibrio entre el desarrollo económico y el entorno natural (Vera, 2015).

Desarrollo sostenible

Es un enfoque integral que tiene como fin la satisfacción de las generaciones del presente sin llegar a comprometer las necesidades de las generaciones futuras, lo cual plantea un enfoque equilibrado entre el aspecto económico, ambiental y el bienestar social, promoviendo a su vez un desarrollo eficiente y sustentable, lo que garantiza la viabilidad de los recursos naturales (Madroño-Palacios et al., 2018).

6.4. Marco legal

A continuación, se presentan las principales normas, leyes y disposiciones legales vigentes que regulan las actividades del sector minero en Colombia, estas normativas establecen los lineamientos técnicos, ambientales, sociales y administrativos que deben ser cumplidos por las empresas del sector para garantizar una explotación responsable, sostenible y conforme con la legislación nacional. El cumplimiento de estas disposiciones es fundamental para minimizar los impactos ambientales, proteger los recursos naturales y promover el desarrollo económico y social de las comunidades vinculadas al entorno minero.

a) Ley 2250 de 2022

“Por medio de la cual se establece el marco jurídico de formalización y legalización minera, así como para el financiamiento y comercialización, además establece la

normatividad especial en el área ambiental” («Ley 2250 de 2022- Legalización y formalización minera», s. f.) en este artículo se manejan conceptos de minería tradicional , además de establecer rutas y planes para la formalización legalización minera, asimismo, establece el documento técnico para los títulos de minería pequeña además de su legalización y formalización.

b) Resolución 1886 de 2015

“En la cual se define el reglamento de seguridad en las actividades y labores mineras de carácter subterráneo”. En la presente resolución se definen los conceptos de la implementación de explosivos, límites permisibles de concentraciones de monóxido de carbono (menor a 10 ppm), Dióxido de carbono (menor a 1000 ppm), contenido de oxígeno (mínimo 19,5 % y máximo 23,5 % en volumen) entre otros (*Decreto 1886 de 2015 - Gestor Normativo*, s. f.)

c) ISO 14001 de 2015

“La cual establece los requisitos del sistema de gestión ambiental” esta permite a las diferentes empresas que demuestren el compromiso asumido con el cuidado y protección de ambiente (*Estándar en Gestión Medioambiental ISO 14001*, s. f.).

d) ISO 9001 de 2015

“La cual establece los requisitos para el sistema de gestión de calidad ”, El marco que esta proporciona permite que las organizaciones cumplan con los requisitos establecidos y de los clientes y que se mejore de manera efectiva sus procesos productivos (*Estándar en Gestión Medioambiental ISO 14001*, s. f.).

e) Resolución 1517 de 2012

“En la cual se adopta el manual para la asignación de compensaciones por pérdida de biodiversidad”, en esta se definen las acciones y el ciclo de gestión a llevar a cabo para las compensaciones ambientales, las zonas donde se deben realizar, y cuanto se debería compensar en área, además se establecen las etapas para implementar la compensación de manera eficaz, (tremarctos, manual y monitoreo) (*Resolución 1517 de 2012 -*, s. f.).

f) Resolución 2971 de 2017

“Por la cual se establecen y definen las medidas de compensación ambientales en trámites de concesión de agua, autorizaciones de ocupaciones de cauces y el aprovechamiento forestal, en el área de la jurisdicción de la corporación autónoma regional de Cundinamarca” (*Resolución 2971 de 2017 Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR*, s. f.).

g) Resolución 0256 de 2018

“En la cual se adopta el manual de compensaciones ambientales del componente biótico en los ecosistemas terrestres”. En la presente resolución se establecen los

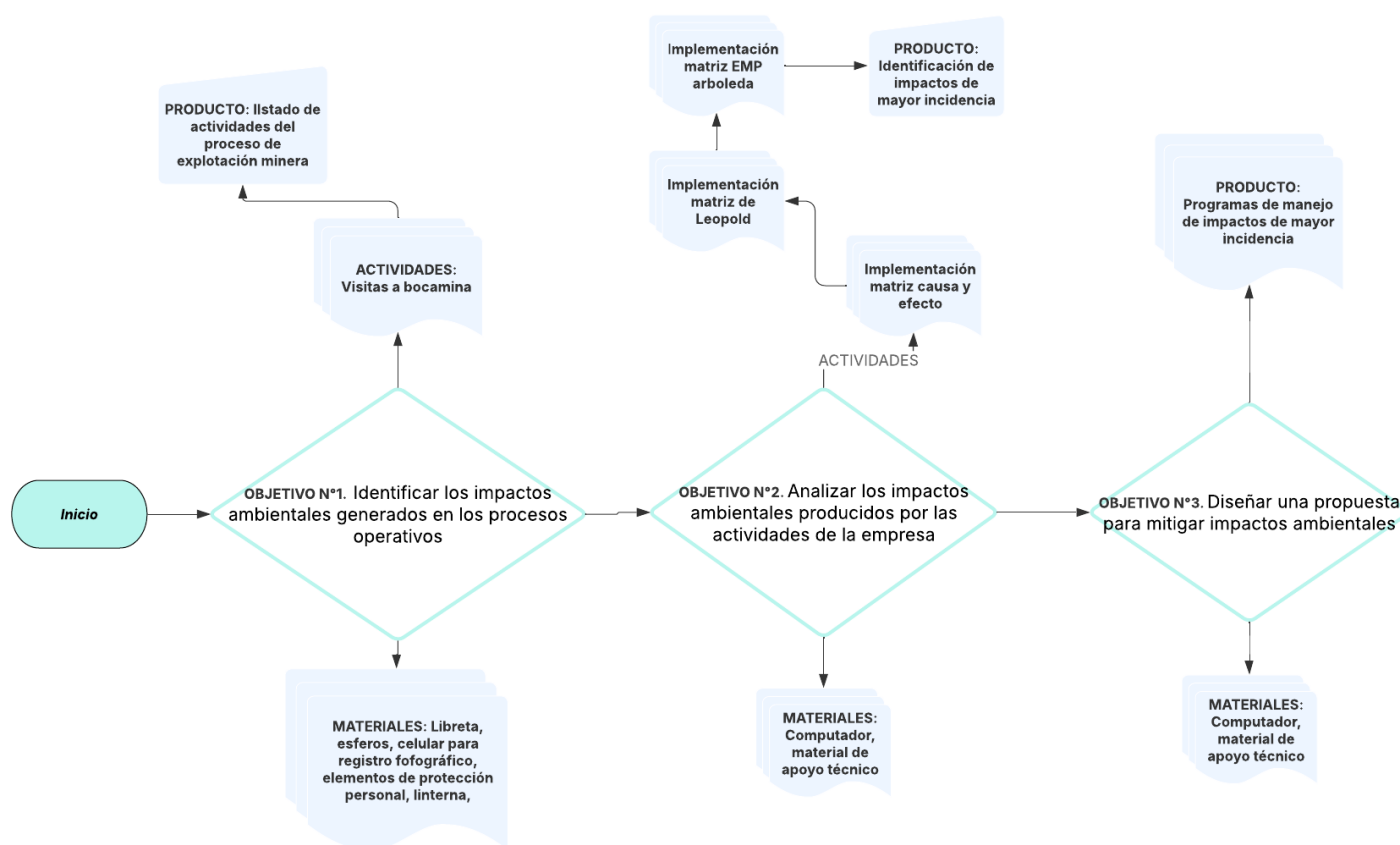
procedimientos de licencias ambientales, además de los permisos de del aprovechamiento forestal y la aprobación, ejecución y ajuste, seguimiento a los planes de compensaciones (Netwoods, s. f.)

h) Resolución 0370 de 2021

“Se concede un período de doce (12) meses a los usuarios o titulares de licencias ambientales, permisos de aprovechamiento forestal único y autorizaciones para la sustracción de áreas de reserva forestal nacional o regional que estén bajo un régimen distinto al establecido por la Resolución No. 256 del 22 de febrero de 2018. Durante este plazo, podrán acogerse al actual manual de compensaciones del componente biótico, y se adoptarán otras disposiciones” (*Resolución 0370 de 2021* -, s. f.).

7 METODOLOGÍA

A continuación se detallan los pasos de la metodología implementada a para el desarrollo de la Propuesta de estrategias de mitigación de impactos ambientales generados en la empresa Cusmining S.A.S en la vereda Firita Peña - Ráquira (Boyacá).



Fuente: Autores 2025

8 RESULTADOS Y ANÁLISIS

8.1. OBJETIVO DE IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS

Para lograr la identificación de los impactos ambientales generados en los procesos operativos de la empresa Cusmining S.A.S, se realizaron visitas frecuentes a la bocamina con el fin de identificar con detalles cada una de las actividades del proceso de explotación minera, de las cuales se identificaron las siguientes:

8.1.1. Actividades a realizar para la extracción del mineral

Para la extracción del carbón se efectúan diferentes actividades las cuales se identificaron personalmente. A continuación se presentan algunas de ellas.

8.1.2. Operación de Sistema de Transporte Malacate – Cable – Skip

En esta actividad se lleva a cabo una revisión detallada del estado del sistema de transporte, luego activa y opera con el fin de que el personal que se encarga de la extracción del carbón ingrese a su zona de trabajo destinada, además del ingreso de material a la mina, dicho malacate a través de su motor y cable permite desplazar el coche dentro de la bocamina a lo largo del mismo.

Ilustración 2. Sistema de transporte Malacate



Fuente: Autores 2025

Ilustración 3. Entrada de sistema de transporte a bocamina



Fuente: Autores 2025

8.1.3. Arranque con martillo neumático picador para avance de carbón o roca

Una vez ubicado en personal en su zona de trabajo se inicia el avance del inclinado mediante el uso del martillo picador, herramienta neumática la cual permite agilizar la extracción del material, ya sea peña o carbón al aplicar golpes de alta frecuencia sobre la superficie de la bocamina, desprendiendo el material para su extracción.

Ilustración 4. Arranque con martillo neumático para extracción de material



Fuente: Autores 2025

8.1.4. Perforación en frente de explotación

Esta actividad es clave en el desarrollo de la extracción del carbón, en la cual se realizan perforaciones de manera estratégica (tiros) con una perforadora neumática, los cuales serán los puntos para insertar el material explosivo, esto permite el control de la fragmentación del material (estéril o carbón) dentro de la bocamina.

8.1.5. Ejecución de voladura con indugel permisible y detonador en frente de explotación

Se introduce el material explosivo dentro de los tiros realizados posteriormente, asegurando su correcta disposición para la ejecución controlada de la voladura, la cual se lleva a cabo mediante el uso de energía eléctrica, lo que permite el control total del momento de la detonación. La ejecución de la voladura es la etapa más crítica dentro del proceso de extracción del mineral, debido a que fragmenta el material agilizando su recolección y transporte, además de permitir el avance en el corte de explotación.

8.1.1. Descargue de roca o carbón de frente de desarrollo inclinado o nivel

Una vez ejecutada la voladura y luego de reposo necesario para que se disipen los gases y revisión de zona segura, se procede al descargue de material estéril o carbón en vagoneta para luego llevar a cabo su extracción.

Ilustración 5. Descargue de roca o carbón de frente de desarrollo inclinado o nivel



Fuente: Autores 2024

8.1.2. Instalación de tacos de madera de frentes de explotación

Una vez realizada la extracción del material se lleva a cabo el refuerzo del nivel de frente de explotación, mediante la instalación de tacos de madera, los cuales se ubican de forma estratégica para que la bocamina mantenga su estabilidad y redistribuya las tensiones del macizo de roca, esta actividad es primordial para la seguridad de los trabajadores debido a que puede evitar algún desprendimiento del material y asegurar el frente de trabajo.

8.1.3. Transporte por vagoneta de material (roca o carbón)

Luego del descargue del material en el frente de explotación, se procede a transportarse por el nivel de manera manual hasta llegar al coche para su extracción final. Las vagonetas están diseñadas para soportar grandes cantidades de peso (hasta 2 toneladas).

Ilustración 6. Transporte por vagoneta de material (roca o carbón)



Fuente: Autores 2025

8.1.4. Operación de Sistema de Transporte Malacate – Cable – Skip

Este sistema de transporte opera con el fin de extraer el material fuera de la bocamina para disponerlo en su zona destinada, ya sea en el patio de estéril o en el patio de carbón.

Ilustración 7. Operación de Sistema de Transporte Malacate



Fuente: Autores 2025

8.1.5. Separación material estéril de material puro

Una vez dispuesto el carbón en su zona establecida, se determina a la separación de rocas del carbón, dado que en el proceso de descargue se pueden mezclar ligeramente los fragmentos de roca, por ende esta selección se debe hacer manual con el fin de garantizar una excelente calidad del producto final a transportar para su venta.

Ilustración 8. Separación material estéril de material puro



Fuente: Autores 2025

8.1.6. Disposición de material estéril en botadero

Una vez el material estéril es dispuesto en su zona de acopio temporal, se lleva a cabo su recolección y traslado de manera eficaz mediante un cargador y una volqueta para luego disponerlo en su zona final (botadero). La disposición del material estéril se debe realizar bajo unos lineamientos preestablecidos, controlando el nivel generación de polvo y/o erosión, minimizando los impactos negativos causados al entorno, luego de su adecuada disposición se implementan medidas para la regeneración de la zona, tales como, sistemas de drenaje o revegetación progresiva.

Ilustración 9. Botadero de material estéril



Fuente: Autores 2025

8.1.7. Comercialización del mineral (Carbón)

Una vez realizada la extracción y clasificación del carbón se dispone a su comercialización, el mineral es dispuesto de la zona de acopio hasta los diferentes puntos de distribución, no obstante, antes de su venta se realizan pruebas de calidad como granulometría y contenido de humedad las cuales definen su costo en el mercado.

8.1.8. Servicios que se implementan para la extracción del mineral

La extracción del carbón no solo implementa una serie de actividades rigurosas de suma importancia, sino que a su vez ejecuta una serie de servicios que son la base del desarrollo

de la extracción minera, además, se presentan algunas actividades que se implementan en casos especiales tales como:

8.1.9. Operación de electrobombas centrífugas

Las electrobombas centrífugas son esenciales para asegurar un desarrollo óptimo y continuo del trabajo, drenando el agua acumulada y disminuyendo el nivel de humedad en la bocamina, lo que evita inundaciones que pueden generar afectaciones al proceso extractivo y agilizando el acceso seguro del personal. Para asegurar su adecuado funcionamiento se realizan revisiones preventivas periódicas confirmando condiciones óptimas de las condiciones de manejo.

8.1.10. Monitoreo de gases bajo tierra con equipo multidetector

El monitoreo de gases se realiza semanalmente para asegurar la salud y seguridad de los trabajadores, mediante un equipo multidetector el cual posibilita las mediciones de gases como Oxígeno (O₂), Metano (CH₄), Monóxido de carbono (CO), Dióxido de carbono (CO₂), Ácido sulfhídrico (H₂S) y Dióxido de nitrógeno.

Ilustración 10. Control de gases de bocamina

TABLERO CONTROL DE GASES							
MINA: <u>Casitas-Sulche</u>				FECHA: <u>18-03-2025</u>			
RESPONSABLE: <u>Orlando Quirós</u>				N° DE TRABAJADORES: <u>9</u>			
FIRMA: <u>Orlando Quirós</u>				HORA: <u>7:00 AM</u>			
GAS		OXIGENO	METANO	MONÓXIDO CARBONO	DIÓXIDO CARBONO	ÁCIDO SULFIDRICO	DIÓXIDO DE NITRÓGENO
FÓRMULA / VLP		O ₂ / 19.5%	CH ₄ / 1%	CO / 25PPM	CO ₂ / 0.5%	H ₂ S / 1PPM	NO ₂ / 0.2%
HORA	ÁREA	CONCENTRACIÓN					
7:10	Industria	20.9	0.0	0.0	0.10	0.0	0.0
7:15	Industria	20.5	0.0	0.0	0.22	0.0	0.0
7:20	Industria	20.4	0.0	0.0	0.24	0.0	0.0
7:25	Industria	20.6	0.0	0.0	0.15	0.0	0.0
7:30	Industria	20.4	0.0	0.0	0.22	0.0	0.0
7:35	Industria	20.5	0.0	0.0	0.22	0.0	0.0
7:40	Industria	20.4	0.0	0.0	0.11	0.0	0.0
OBSERVACIONES: <u>Todas las áreas se encuentran aptas para laborar.</u>							

ESTACIÓN DE MEDIDA CONTROL DE VENTILACIÓN N° 25			
PLANO DE LUZ	A=	3.1	m²
VELOCIDAD DE AIRE	V=	4.8	m/min
FLUJO DE AIRE	Q=	14.8	m³/min
CUPO DE PERSONAL	N°	9.24	PERS
FECHA DE MEDICIÓN	D=	18	3
TEMPERATURA HUMEDA	TH	25	°C
TEMPERATURA SECA	TS	17.9	°C
HUMEDAD RELATIVA		74.3	% HR
FIRMA RESPONSABLE		DOSSIA P.	

Fuente: Autores 2025

8.1.11. Refuerzo y cambio de puertas por deterioro desgaste o ruptura

Para asegurar la seguridad y salud de los trabajadores, de manera periódica se realiza un cambio y refuerzo de puertas ya sea porque presenten deterioro, desgaste o ruptura. Las puertas aseguran la protección contra desprendimientos de Peña, control de ventilación y demarcación de áreas de trabajo, por ende, es de suma importancia su mantenimiento.

Ilustración 11. Identificación zonas de refuerzo



Fuente: Autores 2025

8.1.12. Construcción de depósitos internos de agua

Para evitar inundaciones y asegurar un ambiente seguro dentro de la bocamina se realizan depósitos internos de agua, los cuales cumplen la función de recolección y un uso eficiente del agua subterránea evitando que se acumule en las zonas de trabajo, facilitando a su vez el nivel freático en los niveles o en el frente de explotación.

8.1.13. Instalación de redes de desagüe

Luego de la construcción de los depósitos internos de agua se procede a realizar la instalación de las redes de desagüe las cuales conducen el agua de manera eficiente al sistema de tratamiento de aguas residuales.

8.1.14. Instalación de redes de aire comprimido

Las redes de aire comprimido son fundamentales para el proceso de extracción del carbón, suministran el aire al frente de explotación, lo que facilita el uso de las diferentes herramientas como el martillo picador y las perforadoras neumáticas.

Ilustración 12. Redes de aire comprimido



Fuente: Autores 2024

8.1.15. Instalación de redes eléctricas

A medida que se avanza en el frente de explotación se debe realizar la instalación de red eléctrica para la detonación del explosivo que funciona directamente con dicha red, además

8.1.16. Puesto en marcha de planta eléctrica

En casos especiales debido a la ubicación de la bocamina se pueden presentar fallas en el suministro de electricidad, por ende, para asegurar el desarrollo adecuado de las actividades y el cuidado óptimo de los trabajadores se dispone de una planta eléctrica de respaldo, la cual permite sostener el funcionamiento los equipos esenciales como el sistema de bobeo de agua y sistemas de ventilación,

Ilustración 13. Planta eléctrica



Fuente: Autores 2025

Teniendo en cuenta las anteriores actividades se llevo a cabo una clasificación directa con los impactos

8.2. OBJETIVO DE ANÁLISIS DE IMPACTOS AMBIENTALES

Para el desarrollo del objetivo relacionado con el análisis de impactos ambientales, se tomó como base la caracterización de las actividades previamente identificadas. A partir de estas, se elaboraron matrices que permiten establecer una relación directa entre cada actividad y los impactos ambientales que genera. Este procedimiento facilitó la asignación de una calificación a cada impacto, según su magnitud, extensión, duración y reversibilidad, e identificación de los impactos con mayor incidencia, como se presenta a continuación:

8.2.1. Matriz causa y efecto

Teniendo como base todas y cada una de las actividades necesarias para la extracción del carbón en la empresa Cusmining S.A.S, se elabora la matriz presentada a continuación, la cual tiene como objetivo identificar y analizar de cómo dichas actividades pueden llegar a generar impactos negativos y positivos en los factores ambientales claves, como el agua, aire, suelo y la biodiversidad.

Esta matriz no solo mejora la observación de los impactos sino que a su vez permite un análisis integral de las actividades productivas que generan mayor impacto y que actividad necesita mayor control y manejo en su desarrollo, como se evidencia a continuación:

		Perturbación de las especies nativas por el uso de maquinaria pesada y voladuras con material explosivo	x			x				x		x								x
		Perdida zonas de refugio por voladuras con material explosivo				x														
	Fauna Acuática	Alteración fauna acuática por la contaminación causada de la disposición de aguas de infiltración minera										x		x			x			
Socioeconómico	Población	Afectación a la salud debido a la exposición a las partículas en suspensión o gases generados en el proceso de explotación y extracción del mineral		x	x	x		x	x		x									x
		Prevención de riesgos a salud por emisión de gases por voladuras con material explosivo													x					
		Cambios en la ocupación poblacional debido a la apertura de la mina y comercialización del mineral											x							
	Sociocultural	Incremento del uso de bienes y servicios por la apertura de la mina											x							

		Riesgo de desplazamiento de comunidades debido a la alteración del entorno										x	x								x
	Espacial	Afectación a la infraestructura social (vías)										x	x								
		Aumento de tráfico vehicular debido al transporte diario del mineral											x	x							
	Económico	Cambio en la prestación de servicios públicos y sociales debido al aumento del consumo											x							x	x
		Disminución de la producción agrícola y pecuaria											x								
		Incremento de ingresos familiares											x								
		Generación de empleo local por la extracción del mineral											x								
	Total			4	5	6	11	1	3	6	4	6	11	9	1	1	1	2	2	1	1

Fuente: Autores 2025

La matriz Causa-Efecto aplicada en el presente análisis permitió identificar, de manera sistemática, la relación directa entre las actividades del proceso de extracción de carbón y los impactos generados sobre los componentes del entorno natural. Esta herramienta evidenció con claridad que no todas las fases del proceso extractivo tienen la misma magnitud e incidencia sobre el medio ambiente.

Teniendo en cuenta lo anterior, las actividades con mayor potencial de afectación son: la ejecución de voladuras con Indugel permisible y detonador en el frente de explotación, la disposición de material estéril en botaderos, y la comercialización del mineral (carbón). Estas etapas destacan por su elevada puntuación en la matriz, lo cual indica una interacción crítica con factores ambientales como la calidad del aire, el recurso suelo, el paisaje, y los cuerpos hídricos cercanos, entre otros.

La ejecución de voladuras, por ejemplo, conlleva emisiones de material particulado, alteraciones en la estabilidad del terreno y perturbaciones sonoras de alto impacto, por su parte, la disposición de estériles representa riesgos significativos de erosión, inestabilidad geotécnica y contaminación difusa si no se realiza bajo criterios técnicos adecuados. Finalmente, la comercialización del carbón, aunque generalmente subestimada, puede implicar efectos indirectos relevantes como aumento en la huella de carbono, tráfico pesado en áreas rurales y generación de residuos no controlados.

Frente a estos hallazgos, se hace necesario un análisis más detallado y específico de cada una de estas actividades, con el fin de diseñar e implementar medidas de mitigación efectivas. Además, es clave considerar el desarrollo periódico de las fichas de mitigación de impactos, con énfasis en estos procesos críticos, para asegurar una gestión ambiental preventiva y orientada hacia la sostenibilidad de la actividad minera, con base en las actividades de mayor impacto.

8.2.2. Matriz Leopold

En el método Leopold, el signo “+” o “-” indica si el efecto de una actividad sobre el medio ambiente es positivo o negativo, respectivamente, la magnitud del impacto se califica en una escala de 1 a 10, donde 1 representa una alteración mínima del factor ambiental y 10 indica la máxima alteración posible. Por su parte, la importancia también se evalúa en una escala de 1 a 10, donde 1 corresponde al menor peso relativo o relevancia del impacto, y 10 al impacto más significativo sobre el entorno.

Este método tiene como objetivo evaluar los impactos ambientales generados por las actividades de una empresa, es una matriz que se basa en la metodología matricial que se implementa continuamente para la identificación de impactos. En donde por una parte se identifican las actividades y características de una empresa, mientras que por otro lado, se encuentran los componentes ambientales que se pueden ver afectados por dichas actividades, obteniendo como resultado la identificación, clasificación y cuantificación de los impactos generados en el entorno.

[illegible]

[illegible]

	Paisaje	Alteración al paisaje debido a la remoción de la capa vegetal, remoción de tierra, voladuras con dinamita y disposición inadecuada de material estéril				(-7/8)			(-8/9)		(-6/7)	(-9/10)											-7.50	8.50
	Atmósfera	Generación de ruido por el uso de maquinaria pesada, transporte de material y las voladuras con material explosivo	(-4/6)	(-9/10)	(-7/8)	(-10/10)			(-4/6)	(-4/6)								(-4/6)					-6.00	7.43

[illegible]

[illegible]

	Fauna Acuática	Alteración faunística acuática por la contaminación causada de la disposición de aguas de infiltración minera																			-3.3	4.0
Socio económico	Población	Afectación a la salud debido a la exposición a las partículas en suspensión o gases generados en el proceso de explotación y extracción del mineral		(-7/10)	(-7/10)	(-8/10)		(-6/9)	(-5/5)	(-7/8)	(-6/8)									(-8/10)	-6.8	8.8

		Prevencción de riesgos a salud por emisión de gases por voladuras con material explosivo											(-9/10)							-9	10
		Cambios en la ocupación poblacional debido a la apertura de la mina y comercialización del mineral											(-7/8)							-7	8
	Sociocultural	Incremento del uso de bienes y servicios por la apertura de la mina											(-5/6)							-5	6

		Riesgo de desplazamiento de comunidades debido a la alteración del entorno									(-5/5)	(-6/7)							(-6/7)	-5.7	6.7
	Espacial	Afectación a la infraestructura social (vías)									(-3/4)	(-4/6)								-3.5	5
		Aumento de tráfico vehicular debido al transporte diario del mineral										(-4/5)	(-4/5)								-4
	Económico	Cambio en la prestación de servicios públicos y sociales debido al aumento del consumo											(-4/5)						(-5/5)	(-6/7)	-5.0

	Disminución de la producción agrícola y pecuaria										(-6/7)										-6	7
	Incremento de ingresos familiares										(7/8)										7	8
	Generación de empleo local por la extracción del mineral										(9/9)										9	9

Fuente: Autores 2025

Uno de los impactos ambientales más relevantes identificados con la matriz de Leopold del proceso de extracción minera en la empresa Sociedad minera Cusmining S.A.S. es la contaminación del recurso hídrico, ocasionada principalmente por el uso de sustancias químicas como sulfuros y compuestos nitrosos, presentes en insumos como el Indugel utilizado en las voladuras. Estas sustancias, al entrar en contacto con el agua superficial o subterránea, pueden generar procesos de acidificación y lixiviación de metales pesados, comprometiendo la calidad del agua y afectando tanto los ecosistemas acuáticos como las comunidades que dependen de estos cuerpos hídricos para su consumo o sus actividades productivas. Aunque este impacto fue calificado con baja magnitud en la matriz de evaluación, su persistencia y capacidad de bioacumulación lo convierten en una amenaza latente, especialmente si no se implementan medidas de contención, tratamiento y monitoreo continuo.

Adicionalmente, la alteración del paisaje constituye otro impacto ambiental de considerable relevancia, derivado de acciones como la remoción de la capa vegetal, el movimiento masivo de tierra, las voladuras con dinamita y, en especial, la disposición inadecuada del material estéril. Estos procesos modifican drásticamente la morfología natural del terreno, generan cambios en el relieve y afectan negativamente la percepción visual del entorno, lo que deteriora no solo el valor ecológico del paisaje, sino también su potencial turístico y cultural. La pérdida de cobertura vegetal, además, acelera los procesos de erosión y fragmentación de hábitats, incrementando la vulnerabilidad de especies nativas y reduciendo la resiliencia de los ecosistemas frente a eventos climáticos extremos.

Ambos impactos la contaminación del recurso hídrico y la alteración al paisaje son manifestaciones claras de un modelo de extracción que, sin una gestión ambiental rigurosa, tiende a privilegiar la rentabilidad inmediata sobre la sostenibilidad a largo plazo. Por ello, es imperativo que la empresa no solo reconozca estos riesgos, sino que adopte una postura proactiva frente a su mitigación. Esto incluye la implementación de tecnologías limpias, prácticas de manejo de residuos más estrictas, revegetalización progresiva de áreas intervenidas, y la evaluación constante de la calidad del agua y del estado del paisaje intervenido. Aunque la matriz de Leopold permitió visibilizar los principales impactos generados por la operación minera, es esencial complementar este diagnóstico con una gestión ambiental preventiva, adaptativa y transparente, que priorice la protección de los recursos naturales y el tratamiento de aguas residuales

8.2.3. EMP Arboleda

Este método tiene como objetivo calificar los impactos ambientales generados por un proyecto o actividad, se estructura en dos fases principales: la primera consiste en la identificación de actividades o parámetros ambientales relevantes, y la segunda en la evaluación cualitativa y cuantitativa de dichos parámetros, con el fin de determinar su magnitud, alcance e importancia.

Tabla 8-2. Calificación ambiental método EMP arboleda

PRESENCIA	DURACIÓN	EVOLUCIÓN	MAGNITUD	PUNTAJE
Cierta	Muy larga o permanente (> 10 años)	Muy rápida (< 1 mes)	Muy alta (Mr> a 80%)	1.0
Muy probable	Larga (> 7 años y < 10 años)	Rápida (> 1 mes y < 12 meses)	Alta (> 60 %y < 80 %)	0.7<0.99
Probable	Media (> 4 años y < 7 años)	Media (> 12 meses y < 18 meses)	Media (> 40 % y < 60 %)	0.4<0.69
Poco Probable	Corta (> 1 años y < 4 año)	Lenta (> 18 meses y < 24 meses)	Baja (> 20 % y < 40 %)	0.2<0.39
No probable	Muy corta (< 1 año)	Muy lenta (> 24 meses)	Muy baja (< 19%)	0.01<0.19

Fuente: (Martínez, 2020)

Ilustración 14. Calificación ambiental EMP arboleda

CALIFICACIÓN AMBIENTAL (puntos)	IMPORTANCIA DEL IMPACTO AMBIENTAL
≤ 2.5	Poco significativo o irrelevante
>2.5 y ≤ 5.0	Moderadamente significativo o moderado
> 5.0 y ≤ 7.5	Significativo o relevante
> 7.5	Muy significativo o grave

Fuente: (Martínez, 2020)

Luego de identificar el nivel de importancia del impacto ambiental se definen los impactos con mayor incidencia según los resultados de dicha calificación, los cuales se clasifican desde muy altos, alto, medio, bajo, con esta clasificación se puede establecer en orden la prioridad para llevar a cabo una intervención, enfocándose en la mitigación o prevención de impactos de gran incidencia, como se evidencia a continuación

Tabla 8-3. Método EMP ARBOLEDA

Medio	Componente	Impacto	MÉTODO EMP ARBOLEDA							Incidencia de mayor impacto
			C	P	D	EV	M	CA	Importancia	
Abiótico	Hidrología	Contaminación del recurso hídrico por químicos como sulfuros y nitrosos debido al uso de indugel	-	1	0.7	1	1	9.1	Muy Significativo	Alto
		Disminución de oxígeno disuelto debido a la alteración del flujo natural del agua		0.4	0.5	0.3	0.4	0.9	Irrelevante	Bajo
		Cambios en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua debido al implemento de grasas y aceites en maquinaria de transporte de carbón	-	1	0.7	1	0.8	7.7	Muy Significativo	Alto
		Incremento de los sólidos (suspendidos, disueltos y sedimentables) por drenaje de la mina o lixiviación de escombros botaderos	-	0.7	0.8	0.6	0.6	3.44	Moderado	Medio

	Suelo	Generación de residuos sólidos tales como madera o metales por el cambio de puertas o vendas		1	0.3	0.2	0.4	1.46	Irrelevante	Bajo
		Erosión del suelo causada por la excavación y extracción del mineral	-	0.9	0.4	0.4	0.4	2.1	Irrelevante	Bajo
	Paisaje	Alteración al paisaje debido a la remoción de la capa vegetal, remoción de tierra, voladuras con dinamita y disposición inadecuada de material estéril	-	1	0.7	1	0.8	7.7	Muy Significativo	Alto
	Atmósfera	Generación de ruido por el uso de maquinaria pesada, transporte de material y las voladuras con material explosivo	-	0.8	0.4	0.3	1	2.6	Moderado	Medio
		Generación de Co2 debido al uso de planta eléctrica en caso de corto de energía	-	0.7	0.3	0.3	1	2.1	Irrelevante	Bajo

		Afectación de la calidad del aire debido al incremento de material particulado y emisiones de gases debido a voladuras con dinamita y el transporte continuo del material	-	1	0.3	0.7	0.7	4.3	Moderado	Medio
	Geomorfología	Variación en la dinámica superficial y de procesos erosivos	-	0.7	0.6	0.1	0.3	1.4	Irrelevante	Bajo
Biótico	Fauna terrestre	Reducción del hábitat dada por el montaje de infraestructura	-	0.8	0.4	0.2	0.4	1.4	Irrelevante	Bajo
		Perturbación de las especies nativas por el uso de maquinaria pesada, transporte de material y voladuras material explosivo	-	1	0.5	0.4	0.7	3.5	Moderado	Medio
		Perdida zonas de refugio por voladuras con material explosivo	-	1	0.5	0.4	0.7	3.5	Moderado	Medio

	Fauna Acuática	Alteración fauna acuática por la contaminación causada de la disposición de aguas de infiltración minera		0.8	0.3	0.5	0.4	1.8	Irrelevante	Bajo
Socioeconómico	Población	Afectación a la salud debido a la exposición a las partículas en suspensión o gases generados en el proceso de explotación y extracción del mineral	-	1	0.7	0.4	0.8	4.3	Moderado	Medio
		Prevención de riesgos a salud por emisión de gases por voladuras con material explosivo		1	0.7	0.7	0.8	6.0	Significativo	Medio
		Cambios en la ocupación poblacional debido a la apertura de la mina y comercialización del mineral		1	0.4	0.5	0.5	3.0	Moderado	Medio
	Sociocultural	Incremento del uso de bienes y servicios por la apertura de la mina	-	1	0.6	0.4	0.4	2.9	Moderado	Medio

		Riesgo de desplazamiento de comunidades debido a la alteración del entorno	-	0.8	0.6	0.4	0.4	2.3	Irrelevante	Bajo
	Espacial	Afectación a la infraestructura social (vías)	-	0.9	0.4	0.6	0.4	2.6	Moderado	Medio
		Aumento de tráfico vehicular debido al transporte diario del mineral	-	0.9	0.6	0.6	0.5	3.5	Moderado	Medio
	Económico	Cambio en la prestación de servicios públicos y sociales debido al aumento del consumo	-	0.9	0.4	0.5	0.3	2.0	Irrelevante	Bajo
		Disminución de la producción agrícola y pecuaria	-	1	0.6	0.5	0.6	3.9	Moderado	Medio
		Incremento de ingresos familiares	+	1	0.6	0.7	0.6	4.7	Moderado	Medio

		Generación de empleo local por la extracción del mineral	-	1	0.6	0.6	0.6	4.3	Moderado	Medio
--	--	--	---	---	-----	-----	-----	-----	----------	-------

Fuente: Autores 2025

La combinación metodológica entre la matriz EMP Arboleda y la matriz de Leopold permitió realizar un análisis integral y estructurado de los impactos ambientales generados por las actividades de extracción de carbón en la empresa Cusmining S.A.S. Mientras la matriz de Leopold facilitó la evaluación cualitativa y cuantitativa de los impactos a partir de su magnitud e importancia, la matriz EMP Arboleda aportó un enfoque más estratégico, orientado a la identificación y priorización de los impactos significativos desde una perspectiva sistémica y jerárquica.

Ambas herramientas coincidieron en señalar como impactos críticos la contaminación del recurso hídrico y la alteración del paisaje, clasificados en la categoría de ALTO impacto dentro del análisis EMP. Este hallazgo no solo valida la consistencia entre ambas metodologías, sino que evidencia la necesidad urgente de establecer mecanismos eficaces de prevención, corrección y compensación ambiental.

La contaminación hídrica, resultado del uso de insumos como Indugel (que contiene compuestos sulfurosos y nitrosos), representa una amenaza directa para la calidad de los cuerpos de agua superficial y subterránea. Este tipo de contaminación, si no es adecuadamente controlada, puede derivar en procesos de acidificación, toxicidad para organismos acuáticos y riesgos para la salud humana en comunidades cercanas.

Por otro lado, la alteración al paisaje, intensificada por la remoción de la capa vegetal, los movimientos de tierra, las voladuras con dinamita y la disposición inadecuada del material estéril, genera una transformación profunda del entorno físico y visual. Este impacto no solo afecta el equilibrio ecológico y la biodiversidad local, sino que también compromete la percepción social del territorio, afectando actividades económicas alternas como el turismo rural o el uso cultural del paisaje.

La clasificación de estos impactos como altamente significativos en ambas matrices justifica plenamente la formulación de medidas de mitigación específicas, orientadas a reducir su intensidad, controlar su propagación y evitar daños irreversibles. Si bien dichas medidas serán detalladas posteriormente, es crucial que estas contemplen soluciones integrales, como la implementación de tecnologías más limpias en procesos de voladura, sistemas de tratamiento de aguas contaminadas, revegetalización progresiva de áreas intervenidas y una planificación rigurosa de la disposición de residuos sólidos y estériles.

En este contexto, se hace evidente que el análisis combinado de ambas matrices no solo enriquece la evaluación de impacto ambiental, sino que fortalece el proceso de toma de decisiones, permitiendo enfocar los esfuerzos de gestión en los puntos críticos del proceso productivo. No se trata simplemente de identificar impactos, sino de comprender su origen, su evolución en el tiempo y su interacción con otros factores ambientales y sociales. Solo así será posible avanzar hacia un modelo de minería responsable, sostenible y socialmente aceptable.

8.2.4. Impactos ambientales generados por las actividades de extracción de carbón

La actividad minera de extracción de carbón trae consigo muchos impactos y afectaciones al medio ambiente, dichos efectos encuadran la afectación a la biodiversidad, contaminación de recursos naturales, alteración al suelo, destrucción de la capa vegetal, como se expresa de forma detallada a continuación:

8.2.5. Componente abiótico

Hidrología

La explotación minera de carbón representa uno de los desafíos ambientales más complejos, particularmente por los impactos significativos y persistentes que genera sobre el recurso hídrico. Durante el proceso de extracción, múltiples actividades afectan de forma directa en la calidad y dinámica del agua, afectando tanto cuerpos superficiales como acuíferos subterráneos. Esta problemática adquiere mayor gravedad debido a las dificultades técnicas y económicas que implica su tratamiento, así como por el alto riesgo que representa para los ecosistemas acuáticos y la salud de las comunidades locales.

Uno de los principales factores de contaminación identificados en el proceso de extracción del mineral es el uso de Indugel, una sustancia empleada en procesos de voladura, que contiene compuestos sulfurosos y nitrosos. Estos elementos, al infiltrarse en el suelo o al ser arrastrados por escorrentía, pueden contaminar aguas superficiales y subterráneas, generando fenómenos de acidificación y toxicidad que afectan la biodiversidad acuática y reducen la disponibilidad de agua de calidad para consumo humano y agrícola.

A esto se suma la disminución del oxígeno disuelto en el agua, provocada por la alteración del flujo natural debido a movimientos de tierra, represamientos temporales o canalización de caudales. Esta alteración en la dinámica hidrológica afecta directamente la vida acuática, ya que muchos organismos dependen de niveles estables de oxigenación para sobrevivir.

Asimismo, se observan cambios significativos en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua como consecuencia del uso de grasas y aceites en maquinaria pesada utilizada para el transporte de carbón. La presencia de estos contaminantes orgánicos e hidrocarburos puede interferir en los ciclos biogeoquímicos del agua, afectar la potabilidad y generar riesgos sanitarios si no se controlan adecuadamente.

Por último, se destaca el incremento de sólidos suspendidos, disueltos y sedimentables, resultado del drenaje ácido de mina y de la lixiviación de escombros y materiales depositados en botaderos. Estos procesos no solo deterioran la calidad visual del agua, sino que incrementan su turbidez, alteran su pH y favorecen la sedimentación en cuerpos de agua, lo que a su vez afecta la flora y fauna acuáticas, reduce la capacidad de almacenamiento de embalses y deteriora infraestructuras hidráulicas.

Suelo

Otro de los impactos ambientales de mayor severidad en el contexto de la explotación minera de carbón es la afectación directa al recurso suelo, como resultado de la intervención del subsuelo a través de excavaciones, movimientos de tierra, transporte de materiales y disposición de estériles. Estas actividades generan cambios abruptos en la estructura y funcionalidad del suelo, alterando sus propiedades físicas, químicas y biológicas, lo cual repercute negativamente tanto en la estabilidad del terreno como en la regeneración natural del ecosistema.

Una de las consecuencias más visibles es la erosión del suelo, intensificada por la remoción de grandes volúmenes de tierra durante la fase de extracción, este fenómeno conlleva la pérdida de la capa superficial fértil, esencial para la vegetación nativa, y contribuye a la sedimentación de cuerpos hídricos cercanos, agravando problemas de turbidez y colmatación. La falta de cobertura vegetal y el tránsito constante de maquinaria pesada facilitan además el escurrimiento superficial, aumentando la vulnerabilidad del terreno a procesos de degradación acelerada.

Por otro lado, se identifica también la generación de residuos sólidos no peligrosos, tales como madera, metales y restos de estructuras temporales (puertas, vendas y otros elementos de soporte utilizados dentro de la mina). Estos residuos, si no son gestionados adecuadamente, pueden acumularse en el suelo y convertirse en vectores de contaminación, afectando el drenaje natural y dificultando los procesos de rehabilitación del área intervenida.

Adicionalmente, la disposición inadecuada de material estéril en botaderos no técnicamente diseñados puede generar inestabilidad geotécnica, formación de microrelieves artificiales y compactación excesiva del terreno, impidiendo su posterior uso agrícola o forestal. Esta pérdida de funcionalidad del suelo compromete gravemente la recuperación de los ecosistemas locales y limita las opciones de uso futuro del territorio.

Paisaje

La alteración del paisaje es uno de los impactos más severos derivados de la explotación minera de carbón, principalmente por la remoción de la capa vegetal, los movimientos de tierra, las voladuras con dinamita y la disposición inadecuada del material estéril. Estas actividades generan transformaciones drásticas en la morfología natural del terreno, afectando la estética del entorno y su equilibrio ecológico.

La eliminación de la cobertura vegetal causa la pérdida de especies nativas y facilita procesos erosivos, además, la acumulación de polvo sobre la vegetación remanente bloquea procesos como la fotosíntesis y la respiración, lo que puede llevar al marchitamiento y muerte de las plantas, afectando gravemente la regeneración del ecosistema.

La disposición sin criterios técnicos del material estéril también altera el relieve, genera inestabilidad del suelo y dificulta la integración del paisaje intervenido, estos efectos no solo afectan el medio ambiente, sino también la percepción del territorio por parte de las comunidades.

Atmósfera

La explotación del carbón genera impactos negativos directos sobre la atmósfera, principalmente por la emisión de material particulado en exceso. Este polvillo se libera desde el momento de la voladura con dinamita hasta el transporte del mineral hacia su sitio de aprovechamiento, afectando la calidad del aire y generando riesgos para la salud humana y ambiental.

Además, el uso continuo de maquinaria pesada y los explosivos contribuyen a la generación de ruido, afectando la fauna local y el bienestar de las comunidades cercanas. A esto se suma la emisión de dióxido de carbono (CO₂) producto del uso de plantas eléctricas en situaciones de corte de energía, lo cual incrementa la huella de carbono de la operación minera.

El conjunto de estos factores evidencia una afectación integral al componente atmosférico, que exige la implementación de medidas de control de emisiones, como sistemas de supresión de polvo, mantenimiento eficiente de equipos y planificación de voladuras con criterios técnicos para minimizar la dispersión de contaminantes.

Geomorfología

El uso de explosivos en el proceso de extracción minera conlleva impactos significativos sobre el entorno físico, siendo uno de los más relevantes la alteración de la dinámica superficial del terreno. Las voladuras generan fracturas, desplazamientos de masas de suelo y modificaciones abruptas del relieve, lo que puede comprometer la estabilidad geotécnica de la zona.

Además, estas actividades aceleran los procesos de erosión, removiendo la capa vegetal protectora y facilitando el escurrimiento superficial, lo que incrementa la pérdida de suelo fértil y la probabilidad de deslizamientos o colapsos del terreno. La pérdida de cobertura vegetal, a su vez, reduce la capacidad del ecosistema para recuperarse de manera natural, ampliando la huella de degradación.

Este tipo de impacto exige una planificación rigurosa en el uso de explosivos, así como la implementación de medidas de control de erosión, revegetalización inmediata y estabilización de taludes, para evitar daños irreversibles en el paisaje y garantizar la seguridad del área intervenida.

8.2.6. Componente biótico

Fauna terrestre

La actividad minera, especialmente en procesos de extracción de carbón, genera impactos directos y significativos sobre la fauna terrestre, afectando el equilibrio ecológico de las zonas intervenidas. Entre las principales causas de estos efectos se encuentran las voladuras con dinamita, la disposición inadecuada de residuos, el ruido constante de maquinaria pesada y el tráfico vehicular dentro de la operación minera.

Estas perturbaciones provocan cambios en el comportamiento de las especies nativas, reducen su capacidad de adaptación y pueden generar desplazamiento forzado, pérdida de territorios de alimentación o reproducción, e incluso disminución de la biodiversidad local.

- Entre los impactos más relevantes se identifican:
- La reducción del hábitat natural como consecuencia del montaje de infraestructura minera.
- La perturbación continua de la fauna debido al uso intensivo de maquinaria, el transporte de material y las voladuras
- La pérdida de zonas de refugio, esenciales para muchas especies, a causa de los impactos físicos y sonoros de las explosiones.

Fauna acuática

La minería de carbón se posiciona como una de las actividades productivas con mayor potencial de contaminación del recurso hídrico, principalmente por los efectos negativos que genera sobre los ecosistemas acuáticos. Entre las fuentes más relevantes de afectación se encuentran la descarga inadecuada de aguas residuales del proceso extractivo y la dispersión de partículas finas, como el polvillo de carbón, durante el transporte del material.

Estos residuos líquidos y sólidos se depositan en cuerpos de agua cercanos, alterando su composición físico-química y reduciendo la calidad del agua, lo que compromete gravemente la biodiversidad. Un impacto particularmente crítico es la alteración de la fauna acuática a causa de la contaminación provocada por la disposición de aguas de infiltración minera, que pueden contener metales pesados, sedimentos y otras sustancias nocivas.

Estos cambios afectan directamente la funcionalidad de los hábitats acuáticos, provocando la reducción de especies, la interrupción de ciclos reproductivos y el debilitamiento general del ecosistema. Ante esta situación, es fundamental establecer sistemas de tratamiento adecuados, implementar barreras de contención, y fortalecer el monitoreo ambiental permanente para proteger estos entornos frágiles.

8.2.7. Componente socioeconómico

Población

La minería de carbón es vital para la economía de algunas regiones, donde representa la principal fuente de empleo, no obstante, esta actividad también genera afectaciones a la salud, no solo en los trabajadores, sino en las comunidades cercanas. La dispersión de partículas de carbón durante su transporte puede provocar enfermedades respiratorias al quedar suspendidas en el aire y ser inhaladas por la población expuesta. A continuación se presentan algunos impactos generados a la población por la explotación y transporte del mineral :

- Afectación a la salud debido a la exposición a las partículas en suspensión o gases generados en el proceso de explotación y extracción del mineral
- Prevención de riesgos a salud por emisión de gases por voladuras con material explosivo

- Cambios en la ocupación poblacional debido a la apertura de la mina y comercialización del mineral

Sociocultural

La minería también puede generar impactos positivos, especialmente en el aspecto sociocultural, al incrementar el uso y demanda de bienes y servicios en la zona de influencia. Esto contribuye a la dinámica económica local y puede traducirse en beneficios para la comunidad, como la mejora en la oferta comercial, el acceso a nuevos servicios y el fortalecimiento de la sociedad, pero a su vez trae consigo impactos negativos como lo es el riesgo de desplazamiento de comunidades debido a la alteración del entorno.

Espacial

Las actividades relacionadas con el transporte e importación del carbón pueden generar impactos indirectos pero significativos sobre el medio ambiente y la infraestructura local, los cuales, en muchas ocasiones, no son considerados adecuadamente en la evaluación ambiental inicial. Estos efectos secundarios pueden tener consecuencias acumulativas que comprometen la sostenibilidad de las áreas por donde transita el material extraído.

Uno de los principales impactos es la afectación a la infraestructura social, especialmente en las vías de comunicación, las cuales no siempre están diseñadas para soportar el tránsito constante y pesado del transporte minero. Esto conlleva al deterioro acelerado de las carreteras, incrementando los costos de mantenimiento y reduciendo la calidad de vida de las comunidades que dependen de estas vías.

Asimismo, el aumento del tráfico vehicular, producto del transporte diario del mineral, puede generar mayores niveles de ruido, emisiones atmosféricas y riesgos de accidentalidad, afectando tanto al componente ambiental como al social.

Económico

La actividad minera de carbón genera una serie de impactos económicos tanto positivos como negativos, que deben ser analizados desde una perspectiva integral. En municipios como Samacá y Guachetá, donde la minería representa el principal motor económico, esta actividad ha sido clave en la generación de empleo local y el incremento de los ingresos familiares, fortaleciendo el consumo y permitiendo el acceso a mejores condiciones de vida para muchas comunidades.

Sin embargo, estos beneficios pueden verse opacados por afectaciones económicas cuando la explotación no se realiza bajo criterios de sostenibilidad y responsabilidad social. Entre los impactos negativos se encuentra la disminución de la producción agrícola y pecuaria, debido a la pérdida de suelos fértiles, contaminación de recursos naturales y desplazamiento de actividades tradicionales. A esto se suma la modificación en la prestación de servicios públicos y sociales, impulsada por el aumento de la demanda generado por el crecimiento poblacional en zonas mineras, lo que puede desbordar la capacidad instalada de los municipios.

Además, si no se garantiza estabilidad laboral ni se diversifican las fuentes de ingreso, existe el riesgo de conflictos sociales, dependencia económica excesiva de la minería y abandono de sectores productivos alternos como el turismo o la agroindustria.

Por ello, es esencial que la planificación económica en regiones con vocación minera promueva un modelo de desarrollo equilibrado, que potencie los beneficios de la minería sin comprometer otros sectores estratégicos, y que contemple medidas para distribuir equitativamente los ingresos, fortalecer la infraestructura social, y generar alternativas económicas sostenibles en el mediano y largo plazo.

8.3.OBJETIVO DE PLAN DE MITIGACIÓN DE IMPACTOS

Con el propósito de formular un plan de mitigación de impactos ambientales, se tomó como base la calificación obtenida en el análisis anterior, a partir de este, y considerando los impactos de mayor incidencia, se identificaron dos con mayor magnitud: la contaminación del recurso hídrico y la alteración del paisaje. En respuesta a estos resultados, se diseñaron los siguientes programas de manejo ambiental:

8.3.1. Programas de manejo ambiental

8.3.2. Programa de Manejo del recurso hídrico

El programa de manejo ambiental del recurso hídrico para el título minero 7240 dedicado a la explotación de carbón, establece lineamientos para la protección, conservación y uso sostenible del agua dentro de las actividades mineras. Este documento es fundamental para identificar y mitigar los impactos potenciales de la extracción minera sobre las fuentes hídricas locales, tanto superficiales como subterráneas, asegurando el cumplimiento de las normativas ambientales aplicables. En un sector donde el recurso hídrico es esencial para diversos procesos y puede verse afectado por actividades como extracción de aguas subterráneas, esta ficha define estrategias de monitoreo, control de vertimientos y medidas de recuperación, orientadas a minimizar el impacto ambiental y a contribuir con la sostenibilidad del recurso hídrico en el área de influencia de la mina.

Componente Hidrología	
Programa de Manejo del recurso hídrico	
Aspecto: Tratamiento aguas residuales	Imagen Referente
Objetivos:	
1. Minimizar la contaminación de cuerpos de agua superficiales y subterráneos. 2. Establecer medidas de control, mitigación y prevención para el consumo y contaminación del recurso hídrico 3. Garantizar la correcta gestión y disposición de materiales y residuos generados durante la explotación minera evitando la contaminación de fuentes de agua cercanos.	
Metas:	

4. Ejecutar un sistema de monitoreo y medición del consumo de agua a través de informes trimestrales durante de 1 año. 2 Mantener los parámetros de calidad del agua monitoreados y controlados (sólidos suspendidos, pH, aceites y metales pesados) dentro de los límites permitidos por la normativa actual, mediante tratamientos y mejora de zonas de escorrentía. 3 Lograr una reducción del 70% en la escorrentía de sedimentos hacia cuerpos de agua mediante la instalación de barreras y cunetas con inspecciones. 4.Realizar un seguimiento de al menos el 60 % de las inquietudes o reclamos de la comunidad por afectaciones a cuerpos de aguas cercanos.	
---	--

Fuente: Autores 2025

Etapas de Aplicación			
Exploración			
Construcción y Montaje			
Explotación		X	
Cierre y Abandono			
Evaluación ambiental			
Actividad	Impacto	Elemento	Significancia
Ejecución de voladura con indugel permisible y detonador en frente de explotación	Contaminación del recurso hídrico por químicos como sulfuros y nitrosos debido al uso de indugel	Agua	Alto
Ejecución de voladura con indugel permisible y detonador en frente de explotación	Disminución de oxígeno disuelto debido a la alteración del flujo natural del agua	Agua	Bajo
Transporte por vagoneta de material (roca o carbón)			
Construcción de depósitos internos de agua			
Instalación de redes de desagüe			
Operación de Sistema de Transporte Malacate – Cable – Skip	Cambios en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua debido al implemento de grasas y aceites en maquinaria de transporte de carbón	Agua	Alto
Ejecución de voladura con indugel permisible y detonador en frente de explotación			
Descargue de roca o carbón de frente de desarrollo inclinado o nivel			

Transporte por vagoneta de material (roca o carbón)																								
Separación material estéril de material puro																								
Disposición de material estéril en botadero																								
Perforación en frente de explotación					Incremento de los sólidos (suspendidos, disueltos y sedimentables) por drenaje de la mina o lixiviación de escombros botaderos										Agua					Medio				
Transporte por vagoneta de material (roca o carbón)																								
separación material estéril de material puro																								
Disposición de material estéril en botadero																								
Medida de manejo										Acciones para desarrollar														
Ejecución de un sistema de monitoreo de la generación de agua residual										Realizar mediciones periódicas de la generación de agua residual en la mina, analizarlas de manera mensual según la normativa actual mediante la contratación a la empresa Coprocarbón.														
Tratamiento de aguas residuales										Investigar, evaluar y definir la efectividad de la cal viva (en roca) o hidratada o soda caustica, para el tratamiento de aguas residuales														
Control de sedimentos y escorrentía										Instalar cercas de sedimentos o barreras físicas alrededor de la zona explotación o botaderos cercanos a cuerpos de agua como quebradas para retener el suelo y los sedimentos. Realizar revisiones y limpiezas de las barreras para asegurar su efectividad y evitar bloqueos o acumulación de sedimentos. Implementar zanjas en las zonas de escorrentía para captar el agua de lluvia, permitiendo que los sedimentos se depositen antes de que el agua llegue a los cuerpos de agua.														
Participación activa de la comunidad										Realizar encuestas cada trimestre en la comunidad para promover una participación activa y conocer el estado de su entorno.														
Evaluación y mejora continua										Supervisar frecuentemente el cumplimiento de las medidas y sistemas implementados en el título minero (7240),														
Medida		Tipo de medida				Indicador				Frecuencia de aplicación						Responsable (cargo)		% de cumplimiento		Registros para la supervisión				
		C m	C r	M r	P r					M	B	T	S	A	Otr o									

La población beneficiada directamente será la comunidad que reside en las áreas circundantes a la empresa Sociedad Minera Cusmining S.A.S				
Los trabajadores de la mina son beneficiados al mejorar las condiciones ambientales en su lugar de trabajo.				
Mecanismos y estrategias participativas				
Se implementará una jornada de capacitación a la comunidad con el propósito de conocer las opiniones de cómo se encuentra su entorno a través de encuestas.				
Personal requerido				
Ingeniero Ambiental, obrero				
Cronograma				
Medida de manejo	Exploración	Construcción y montaje	Explotación	Cierre y abandono
Ejecución de un sistema de monitoreo de la generación de agua residual			X	
Tratamiento de aguas residuales			X	
Control de sedimentos y escorrentía			X	
Participación Activa de la comunidad			X	
Evaluación y mejora continua			X	
Presupuesto				
Ítem	Descripción		Valor total	
1	Costos de insumos		\$ 3’800.000	
2	Costos por mano de obra		\$30,465,600.00	
3	Costos indirectos		\$650,000.00	
Total costos producción ficha ambiental			\$34,915,600.00	
Los valores son de referencia y se encuentran actualizados para el año 2025				
Tipo de medida: Cm: compensación, Cr: control, Mr: mitigación, Pr: prevención.				
Frecuencia: otro: Al momento de la construcción del proyecto				
Frecuencia de aplicación: M: mensual, B: Bimestral, T: Trimestral, S: Semestral, A: Anual.				

Tabla 8-4. Presupuesto mano de obra

Título Minero 7240	Valor mes	Días del mes	Valor día	Horas de día	Valor hora	Horas laboradas al día	Días trabajados a la semana	Semanas del mes	Total horas en el mes	Total salario mensual	Total Salario Por ficha
Prestación de servicios para monitoreo de calidad del agua empresa coprocabón	\$3,000,000	5	\$600,000	8	\$75,000	2	1	4	8	\$600,000	\$7,200,000
Obrero	\$1,423,500	30	\$47,450	8	\$5,931.25	8	6	4	192	\$1,138,800	\$13,665,600
Ingeniero Ambiental	\$2,000,000	30	\$66,667	8	\$8,333.33	4	6	4	96	\$800,000	\$9,600,000
Total costos de mano de obra											\$30,465,600

Fuente: Autores 2024

Tabla 8-5.Presupuesto insumos

Insumos				
Insumos	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo total
Cal hidratada	8	Ton	\$400,000	\$3,200,000.00
Ladrillos	1000	Cant	\$400	\$400,000.00
Canal plástico reutilizado	20	m	—	—
Material para encuestas	1	Cant	\$ 200,000.00	\$ 200,000.00
Total costos de insumos				\$3,800,000.00

Fuente: Autores 2024

Tabla 8-6. Presupuesto costos indirectos

Costos indirectos		
Ítem	Descripción	Valor total
1	Logística y transporte	\$500,000.00

2	Encuestas y papelería	\$150,000.00
Total costos indirectos		\$650,000.00

Fuente: Autores 2024

Uno de los ejes centrales del proyecto fue la evaluación y aplicación de un tratamiento físico-químico del agua residual utilizando cal viva y cal hidratada, este proceso demostró ser altamente eficaz, logrando una disminución significativa de la concentración de hierro disuelto en el agua. Asimismo, se observó un aumento considerable del nivel de pH, corrigiendo su acidez y acercándolo a los rangos permisibles establecidos por las autoridades ambientales competentes. Dichos resultados evidencian la efectividad del tratamiento implementado y su contribución directa al cumplimiento de la normativa legal aplicable en materia de vertimientos.

Además, se desarrollaron obras de infraestructura para el manejo adecuado de las aguas pluviales y residuales, entre estas, se destaca la construcción de cunetas utilizando materiales reciclados y ladrillos, una solución responsable ambientalmente que no solo redujo el impacto de la escorrentía superficial, sino que también permitió el depósito controlado de sedimentos arrastrados por las lluvias, previniendo la obstrucción de los sistemas de drenaje y mitigando riesgos de erosión.

Complementariamente, se llevaron a cabo actividades periódicas de mantenimiento, tanto de las cunetas como de los pozos de sedimentación y los sistemas de tratamiento de aguas existentes, estas labores de conservación y mejora fueron clave para asegurar la operatividad continua y eficiente de las infraestructuras, evitando su deterioro y garantizando su funcionalidad a largo plazo.

En conjunto, todas estas acciones consolidan un aporte significativo del estudiante al fortalecimiento de la gestión ambiental del recurso hídrico, integrando conocimientos técnicos con prácticas sostenibles y responsabilidad ecológica.

Ilustración 15. Dosificación diaria de cal en aguas residuales de la mina



Fuente: Autores 2025

Ilustración 16. Nivel de pH antes de tratamiento y después de tratamiento



Fuente: Autores 2025

Ilustración 17. Desarrollo de cunetaje con ladrillo y material reutilizado (Ducto de ventilación)



Fuente: Autores 2025

8.3.3. Programa de Manejo del Paisaje

La ficha de manejo ambiental del componente paisaje para el título minero 7240 enfocado en la explotación de carbón, establece lineamientos para minimizar el impacto visual y la alteración del entorno natural durante las actividades mineras, este documento considera la preservación de la estética y la integridad del paisaje como un aspecto esencial para reducir la percepción de intervención negativa en el entorno y conservar el valor escénico de la zona. A través de estrategias de restauración, mantenimiento y rehabilitación de áreas intervenidas, la ficha busca mitigar los efectos de las operaciones mineras, promoviendo prácticas de integración paisajística y armonización con el entorno natural y cultural en el proyecto.

Componente Paisaje Programa de Manejo del Paisaje

Aspecto: Alteración del paisaje

Objetivos:

1. Reducir el impacto en la calidad visual del paisaje provocado por el desarrollo del proyecto minero, con el fin de armonizar los elementos instalados al entorno natural del sector Sociedad Minera Cusmining S.A.S.
2. Fomentar la progresiva restauración de las áreas afectadas mediante el mantenimiento de zonas ambientales y de taludes.
3. Reducir la acumulación de residuos en las diferentes zonas de trabajo o aledañas a la mina generados a partir de la actividad de extracción del carbón.
4. Fomentar la implementación de material reciclable para la fabricación de cercas y embellecimiento de las áreas verdes
5. Preservar las áreas verdes intervenidas mediante la poda continua, para disminuir el impacto visual y conservar la cobertura vegetal para mejorar la apreciación del entorno visual

Metas:

1. Integrar de forma visual las estructuras implementadas para la extracción de carbón, mediante el camuflaje (pintura, vegetación), para obtener una armonización paisajística.
2. Recolectar el 90% de chatarra y residuos sólidos generados mensualmente, mediante la implementación de jornadas de limpieza.
3. Realizar mantenimiento de taludes intervenidos mediante mallas vegetales, por medio del uso de materas en botellas plásticas reutilizadas, promoviendo la estabilidad del uso y a su vez el aprovechamiento de residuos.
4. Implementar material reutilizable como madera residual para la creación de cercas de delimitación de las áreas mineras, además, crear zonas paisajísticas intervenidas a partir de llantas y botellas recicladas.

Imagen Referente



Fuente: Autores 2025

Etapas de Aplicación														
Exploración														
Construcción y Montaje														
Explotación										X				
Cierre y Abandono														
Evaluación ambiental														
Actividad					Impacto					Elemento			Significancia	
Ejecución de voladura con indugel permisible y detonador en frente de explotación					Alteración al paisaje debido a la remoción de la capa vegetal, remoción de tierra, voladuras con dinamita y disposición inadecuada de material estéril					Paisaje			Alto	
Transporte por vagoneta de material (roca o carbón)														
Separación material estéril de material puro														
Disposición de material estéril en botadero														
Medida de manejo										Acciones para desarrollar				
Mantenimiento de estructuras para obtener una armonización paisajística										Realizar mantenimiento a estructuras implementadas en la extracción de carbón pintándolas de tonos verdes o marrones.				
										Instalar cercas vivas o realizar barreras de tipo vegetal en las estructuras de mayor visibilidad				
Jornadas de recolección de chatarra y material reutilizable semanal										Desarrollar jornadas semanales de recolección de material reciclable y llevar a cabo la adecuada clasificación de material como plástico, cartón y chatarra, para lograr un aprovechamiento oportuno de los mismos				
										Gestionar la retribución y entrega de los residuos de valorizables por empresas de gestión de residuos				
Implementación de mallas vegetales para mantenimiento en taludes intervenidos										Llevar a cabo la selección y separación de botellas plásticas y seleccionar plantas para realizar mallas vegetales aseguradas con alambre				
Creación de zonas paisajísticas intervenidas										Aprovechar al 90% el material reutilizable como llantas, botellas, cartón para obtener escenarios que mejoren visualmente el paisaje de la mina				
Evaluación y mejora continua										Supervisar frecuentemente el cumplimiento de las medidas y sistemas implementados en el título minero (7240).				
Medida	Tipo de medida				Indicador	Frecuencia de aplicación						Responsable (cargo)	% de cumplimiento	Registros para la supervisión
	Cm	Cr	Mr	Pr		M	B	T	S	A	Otro			
Mantenimiento de estructuras para obtener			X		%ME = (#Estructuras intervenidas con pinturas /#Total						X	Ingeniero Ambiental	60%- 100%	Lista de chequeo

una armonización paisajística					de estructuras visibles para intervención) *100									
Jornadas de recolección de chatarra y material reutilizable semanal		X			% JR= (# de jornadas realizadas/ # de jornadas proyectadas) * 100	X						Ingeniero Ambiental	70%-100%	Documento técnico de seguimiento
Implementación de mallas vegetales para mantenimiento en taludes intervenidos		X			% MV= (# de taludes con mallas realizadas/ # de taludes con mallas programadas) * 100		X					Ingeniero Ambiental	80%-100%	Lista de chequeo
Creación de zonas paisajísticas intervenidas		X			% MV= (# de áreas paisajísticas intervenidas/ # de zonas establecidas) * 100	X						Ingeniero Ambiental	60%-90%	Lista de chequeo
Evaluación y mejora continua			X		% IC= ((# de supervisiones realizadas) / (# supervisiones planeadas)) * 100				X			Auditor	70%-100%	Documento de auditoría
Lugar de aplicación														
Título minero 7240 zona de influencia aledaña de la mina.														
Población beneficiada														
La población beneficiada directamente será la comunidad que reside en las áreas circundantes a la mina Sociedad Minera Cusmining S.A.S														
Mecanismos y estrategias participativas														
N/A														
Personal requerido														
Ingeniero Ambiental, Obrero														
Cronograma														
Medida de manejo	Exploración				Construcción y montaje				Explotación				Cierre y abandono	
Mantenimiento de estructuras para obtener una									X					

armonización paisajística				
Jornadas de recolección de chatarra y material reutilizable semanal			X	
Implementación de mallas vegetales para mantenimiento en taludes intervenidos			X	
Creación de zonas paisajísticas intervenidas			X	
Evaluación y mejora continua			X	

Presupuesto		
Ítem	Descripción	Valor total
1	Costos de insumos	\$10,733,000.00
2	Costos por mano de obra	\$32,865,600.00
3	Costos indirectos	\$1,300,000.00
Total costos producción ficha ambiental		\$44,898,600.00
Los valores son de referencia se encuentran actualizados para el año 2025 Tipo de medida: Cm: compensación, Cr: control, Mr: mitigación, Pr: prevención. Frecuencia: otro: Única Frecuencia de aplicación: M: mensual, B: Bimestral, T: Trimestral, S: Semestral, A: Anual.		

Tabla 8-7. Presupuesto mano de obra

Título Minero 7240	Valor mes	Días del mes	Valor día	Horas de día	Valor hora	Horas laboradas al día	Días trabajados a la semana	Semanas del mes	Total horas en el mes	Total salario mensual	Total Salario Por ficha
Ingeniero Ambiental	\$2,000,000	30	\$66,666.67	8	\$8,333.33	8	6	4	192	\$1,600,000.00	\$19,200,000.00
Obrero	\$1,423,500	30	\$47,450.00	8	\$5,931.25	8	6	4	192	\$1,138,800.00	\$13,665,600.00
Total costos mano de obra											\$32,865,600.00

Fuente: Autores 2025

Tabla 8-8.Presupuesto insumos

Insumos				
Insumos	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo total
Plantas	2000	Cant	\$3,000	\$6,000,000.00
Botellas plásticas	5000	Cant	–	–
Alambre	50	kg	\$11,400	\$570,000.00
Pinturas	40	Cant	\$94,900.00	\$3,796,000.00
Llantas	100	Cant	–	–
Lijas	100	Cant	\$1,990.00	\$199,000.00
Herramientas de jardinería	Varios	Cant	–	–
Brochas	20	Cant	\$ 8,400.00	\$ 168,000.00
Total costos de insumos				\$10,733,000.00

Fuente: Autores 2025

Tabla 8-9. presupuesto costos indirectos

Costos indirectos		
Ítem	Descripción	Valor total
1	Elementos de protección personal	\$1,000,000.00
2	Reparación herramientas de jardinería	\$300,000.00
Total costos indirectos		\$1,300,000.00

Fuente: Autores 2025

En el marco del proceso de formación profesional y con un enfoque orientado a la sostenibilidad y la restauración ambiental, el estudiante participó activamente en el diseño e implementación del Programa de Manejo Ambiental del Paisaje, el cual tuvo como objetivo principal la recuperación ecológica y visual de las áreas intervenidas por actividades antrópicas, asociadas a procesos de extracción minera.

Como resultado de la ejecución del programa, se evidenció un cambio positivo en las zonas impactadas, mejorando no solo las condiciones estéticas del entorno, sino también

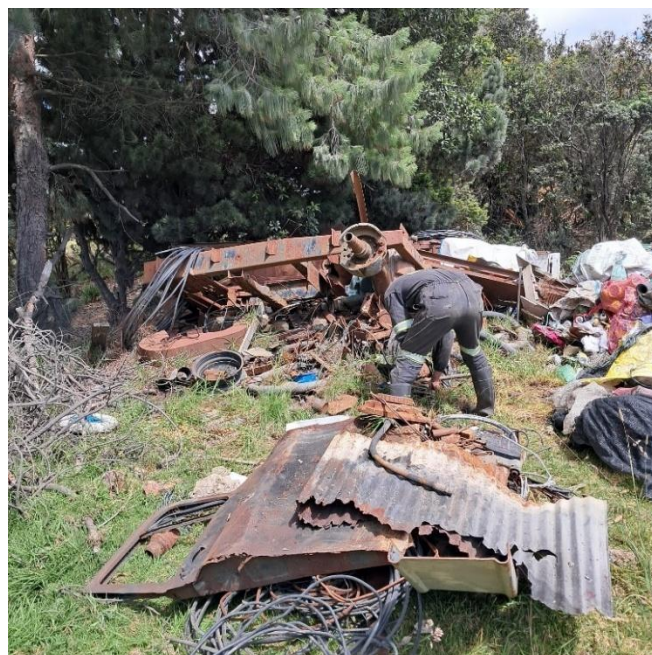
promoviendo la restauración de funciones ecológicas clave. Entre las acciones desarrolladas destacan las jornadas sistemáticas de recolección y disposición adecuada de residuos sólidos, que permitieron la remoción de desechos dispersos en el área y la promoción de un ambiente más limpio y ordenado.

Asimismo, se llevaron a cabo labores de mantenimiento y poda en zonas verdes, con el fin de conservar la cobertura vegetal existente, fomentar su crecimiento saludable y prevenir el deterioro paisajístico. Una intervención relevante fue la instalación de mallas vegetales en los taludes afectados, técnica que favorece la estabilización del suelo, reduce los riesgos de erosión y promueve la recuperación natural de la vegetación en áreas intervenidas.

Complementando estas actividades, se realizaron capacitaciones dirigidas al personal de la empresa en temas relacionados con la adecuada gestión de residuos, el manejo responsable de materiales, y la importancia de la conservación del paisaje en zonas de influencia minera. Estas jornadas de sensibilización fortalecieron la conciencia ambiental y el compromiso del talento humano con las buenas prácticas ambientales.

Otra medida destacada fue la delimitación física de las zonas mineras mediante la instalación de cercas elaboradas con madera reciclada, lo que permitió ordenar el uso del espacio, restringir el acceso a áreas sensibles y aportar estéticamente al entorno con elementos funcionales y sostenibles.

Ilustración 18. Recolección y separación de residuos



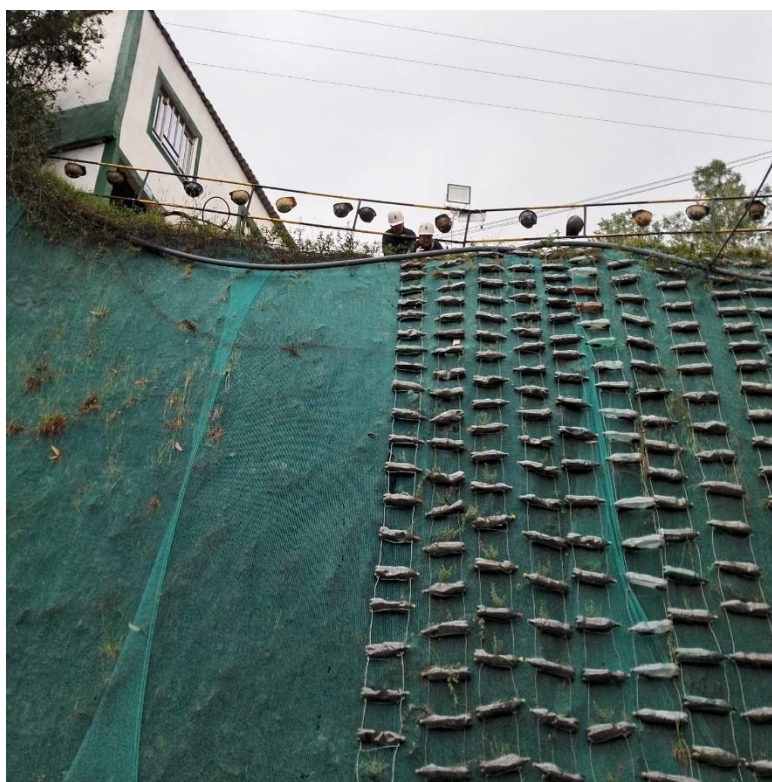
Fuente: Autores 2025

Ilustración 19. Mantenimiento, poda y embellecimiento de áreas verdes



Fuente: Autores 2025

Ilustración 20. Disposición de malla vegetal en talud intervenido



Fuente: Autores 2025

Ilustración 21. Aprovechamiento de llantas en sillas de descanso



Fuente: Autores 2025

Ilustración 22. Mantenimiento de cercas de delimitación con madera reutilizada



Fuente: Autores 2025

9 CONCLUSIONES

La implementación de herramientas como la matriz causa-efecto, la matriz de Leopold y el método EPM Arboleda permitió identificar, analizar y evaluar de manera precisa los impactos ambientales generados por las actividades de extracción minera. La combinación de estas metodologías facilitó una comprensión integral de los efectos producidos sobre los distintos componentes del entorno, contribuyendo así a una gestión ambiental más eficiente y fundamentada.

La implementación de cal viva como tratamiento fue una medida efectiva para mejorar la calidad de las aguas residuales provenientes de las minas, aumentando su pH de un valor ácido 2.5 hasta un nivel de 6 cerca a la neutralidad, además de la disminución de hierro disuelto presente de 3 mg/l a 0.7 mg/, contribuyendo con los parámetros de calidad establecidos por la normatividad vigente.

El desarrollo del programa de manejo paisajístico basado en el aprovechamiento y reutilización de residuos es una alternativa eficiente en la conservación del medio ambiente, así mismo ayuda con la disminución de costos de operación generando un ahorro representativo en la operación minera.

Mis aportes como estudiante fueron de gran relevancia en el desarrollo del presente proyecto, participé activamente en el diseño e implementación del programa de manejo ambiental, enfocado en mitigar dos de los principales impactos generados por las actividades mineras: la contaminación de aguas residuales y la alteración del paisaje. A través de un análisis de las condiciones ambientales y operativas de la empresa, propuse estrategias sostenibles que permitieran optimizar el uso de los recursos, reducir los niveles de contaminación por residuos y mejorar la percepción visual del entorno. Estas acciones no solo fortalecieron mis competencias profesionales, sino que también contribuyeron significativamente al cumplimiento de los objetivos planteados.

10 RECOMENDACIONES

Al inicio de la práctica, enfrenté varios retos debido a las condiciones del campamento y la falta de recursos, especialmente en el manejo del recurso hídrico y la disponibilidad limitada de energía. Aunque fue difícil, estas situaciones me brindaron un aprendizaje muy valioso tanto a nivel profesional como personal. Por eso, recomiendo a la empresa seguir recibiendo practicantes, e implementando ese espacio, ya que estas experiencias son una gran oportunidad para crecer y aportar soluciones concretas.

En cuanto a lo técnico, recomiendo:

Que la empresa implemente las matrices de evaluación de impactos que se propusieron y desarrollaron (como la matriz causa-efecto, la matriz de Leopold y el método EPM Arboleda) de forma anual, esto ayudará a hacer un seguimiento constante de los impactos ambientales

y a ajustar las medidas de mitigación para asegurar un desarrollo sostenible de las actividades mineras.

Continuar con el tratamiento de aguas residuales con cal viva, que propuse y se empezó a aplicar durante mi práctica. Es importante darle continuidad para evaluar su efectividad a lo largo del tiempo y garantizar que el agua tratada cumpla con la normatividad ambiental.

Mantener y fortalecer el programa de manejo paisajístico, aprovechando y reutilizando residuos para decorar y mejorar el entorno de la mina, esto no solo ayuda a mejorar el aspecto visual, sino que también reduce costos y fomenta una cultura ambiental positiva dentro de la empresa, como se evidencio.

11 REFERENCIAS

- Acosta Bueno, D. M. (2016). Impactos ambientales de la minería de carbón y su relación con los problemas de salud de la población del municipio de Samacá (Boyacá), según reportes ASIS 2005-2011. <http://hdl.handle.net/11349/4130>
- Agencia Nacional de Minería ANM | Administración, Fomento, Promoción y Fiscalización de la Minería Nacional. (s. f.). Recuperado 24 de febrero de 2025, de <https://www.anm.gov.co/>
- Aroni, C. (2024). (PDF) Avances de la producción científica sobre gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. ResearchGate. <https://doi.org/10.37787/9e75sc39>
- Barbuto, P. (2022). IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE CONTROL. <https://es.linkedin.com/pulse/identificaci%C3%B3n-de-medidas-control-director-consultora-qcs>
- Bermúdez, W. (2019). Gestión ambiental para minimizar la contaminación de la biodiversidad en los pueblos lacustres Ciénaga Grande de Santa Marta Magdalena-Colombia. Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía, 4(7), 128. <https://doi.org/10.35381/r.k.v4i7.197>
- Buitrago Betancourt, J. D. (2020). Minería, comercio internacional e impactos ambientales en el páramo El Rabanal de Samacá, Boyac. Intropica: Revista del Instituto de Investigaciones Tropicales, 15(1), 42-54.
- Carvajal, A. (2019). Definicion de La Ficha Ambiental | PDF | Evaluación de impacto ambiental | Contaminación. Scribd. <https://es.scribd.com/document/399347220/Definicion-de-La-Ficha-Ambiental>

- Castellanos, A. (2019). Vista de IMPACTOS AMBIENTALES DE LA MINERIA DE CARBON SOBRE EL RECURSO HÍDRICO EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACA. Boletín semillas ambientales. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/bsa/article/view/15870/15471>
- Damonte, G., Ulloa, A., Quiroga, C., & Lopez, A. (2022). La apuesta por la infraestructura: Inversión pública y la reproducción de la escasez hídrica en contextos de gran minería en Perú y Colombia. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-10432022000100101&script=sci_arttext
- Decreto 1886 de 2015—Gestor Normativo. (s. f.). Recuperado 20 de abril de 2025, de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=65325>
- Echavarren, J. (2024). (PDF) Aspectos socioeconómicos de la evaluación de impacto ambiental. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/44200826_Aspectos_socioeconomicos_de_la_evaluacion_de_impacto_ambiental
- Estándar en Gestión Medioambiental ISO 14001. (s. f.). Recuperado 20 de abril de 2025, de <https://www.bsigroup.com/es-CO/gestion-medioambiental-iso-14001/>
- Figueredo Mateus, D. M., Pinto Aguilar, N. M., & Villegas González, P. A. (2015). Plan de manejo ambiental para mitigar los impactos generados por la explotación minera en el municipio de Nechí en el bajo Cauca—Región de la Mojana. Universidad Católica de Colombia.
- Galván Rico, L. E., & Reyes Gil, R. E. (2009). Algunas herramientas para la prevención, control y mitigación de la Contaminación ambiental. Universidad, Ciencia y Tecnología, 13(53), 287-294.

- García Feria, L. M., Brousset, D. M., Cervantes Olivares, R. A., García Feria, L. M., Brousset, D. M., & Cervantes Olivares, R. A. (2019). Factores abióticos y bióticos determinantes para la presencia de *Atrachochytrium dendrobatidis* en anfibios mexicanos. *Acta zoológica mexicana*, 35. <https://doi.org/10.21829/azm.2019.3502066>
- García-Álvarez García, G. (2022). Medidas de compensación ambiental y desarrollo sostenible. *Revista Aragonesa de Administración Pública*, 23, 13-58.
- Güiza Suárez, L. (2011). Perspectiva jurídica de los impactos ambientales sobre los recursos hídricos provocados por la minería en Colombia. *Opinión Jurídica*, 10(SPE), 123-140.
- Iriarte, T. I. P. (2014). Impacto ambiental del polvillo del carbón en la salud en Colombia. *CES Salud Pública*, 5(1), Article 1.
- Leguizamón, O. J. D., Cano, G. A. R., López, E. V., Triana, Y. P., & Díaz, A. L. (2017). Problemática ambiental de la minería en Boyacá.
- Ley 2250 de 2022- Legalización y formalización minera. (s. f.). Asociación Colombiana de Minería. Recuperado 20 de abril de 2025, de <https://acmineria.com.co/blog/normativa/ley-2250-de-2011-legalizacion-y-formalizacion-minera/>
- Madroñero-Palacios, S., Guzmán-Hernández, T., Madroñero-Palacios, S., & Guzmán-Hernández, T. (2018). Desarrollo sostenible. Aplicabilidad y sus tendencias. *Revista Tecnología en Marcha*, 31(3), 122-130. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i3.3907>
- Martinez, L. (2020). Análisis comparativo entre el Método Leopold y el EMP-Arboleda para la identificación de impactos ambientales en la intervención de vías principales

urbanas. <https://repository.usta.edu.co/items/4ee683b5-21a7-4bb1-96be-251a1f1a228f>

Netwoods. (s. f.). Resolución 256 de 2018:Manual de Compensaciones Ambientales del componente biótico. Recuperado 20 de abril de 2025, de <https://www.reddearboles.org/noticias/nwarticle/371/1/resolucion-256-de-2018-manual-de-compensaciones-ambientales>

Ortiz, D. S., Puerta, D. I. G., & Jaraba, D. C. M. (2025). Caracterización del material estéril de la minería de carbón a cielo abierto para usos viales: Caso de estudio mina El Descanso, Colombia. *Prospectiva*, 23(1), Article 1. <https://doi.org/10.15665/rp.v23i1.3444>

Perevochtchikova, M. (2013). La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. *Gestión y política pública*, 22(2), 283-312.

Ponce, V. (s. f.). Recuperado 24 de febrero de 2025, de https://ponce.sdsu.edu/la_matriz_de_leopold.html

Resolución 0370 de 2021 -. (s. f.). Recuperado 20 de abril de 2025, de <https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-0370-de-2021/>

Resolución 1517 de 2012 -. (s. f.). Recuperado 20 de abril de 2025, de <https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-1517-de-2012/>

Resolución 2971 de 2017 Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca—CAR. (s. f.). Recuperado 20 de abril de 2025, de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=73005>

Rodríguez Aparicio, J., & Vergara Buitrago, P. A. (2021). Análisis ambiental de la minería de carbón en el ecosistema estratégico de páramo (Boyacá, Colombia). *Scientia et Technica*, 26(3), 398-405.

- Rodríguez, J., Tobón, J., Frías, M., & Rojas, M. I. S. de. (2018). Aprovechamiento de un residuo del carbón para reducción del impacto ambiental de la minería del carbón en Colombia: Estudio del potencial de uso en la industria del cemento. Revista CINTEX, 23(2), Article 2. <https://doi.org/10.33131/24222208.323>
- Sangüesa-Barreda, G., Camarero, J. J., Linares, J. C., Hernández, R., Oliva, J., Gazol, A., Andrés, E. G. de, Montes, F., García-Martín, A., & Riva, J. de la. (2015). Papel de los factores bióticos y las sequías en el decaimiento del bosque: Aportaciones desde la dendroecología: Ecosistemas, 24(2), Article 2. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2015.24-2.03>
- Suarez, L. J. R. (2018). MONOGRAFÍA DE ESTUDIO: MINERÍA DEL CARBÓN EN BOYACÁ Y SUS IMPACTOS AMBIENTALES.
- Vargas, S. Z., Herrera, V. L., & Faria, M. J. C. (2021). EXTRACCIÓN DEL CARBÓN MINERAL EN COLOMBIA Y SU IMPACTO AMBIENTAL.
- Vera, J. (2015). La mitigación ambiental en las actividades productivas o extractivas: Concepto, obligatoriedad y aplicación práctica | Revista de Derecho Administrativo. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/derechoadministrativo/article/view/15174>

12 ANEXOS.

A continuación, se proporciona el enlace a la carpeta de Google Drive que contiene todas las evidencias documentales y fotográficas de las actividades desarrolladas por el estudiante en el marco del proyecto.

https://drive.google.com/drive/folders/1C2GXjMTcu3m7-khLnNvOO7eTl_oq4_yp?usp=drive_link