

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO AMBIENTAL EN PROYECTOS DE EXPLOTACIÓN  
MINERA DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



ALBERTO ALEXANDER MORA BAYTER

Trabajo de grado presentado como parte de los requisitos de grado en la Maestría en  
Gestión Ambiental

Director

Dr. José David López Rivas

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

2020

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

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

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

Evaluador

José David López Rivas

Director

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a la Pontificia Universidad Javeriana (PUJ), a todos sus directivos y profesores, de manera especial al DOCTOR JOSÉ DAVID LÓPEZ RIVAS, director de tesis por su esmero, orientación y guía para llevar a buen término este trabajo de investigación.

Agradezco al grupo interdisciplinar de profesionales que conforman el departamento Ambiental y contable de las empresas INGENIERÍA Y MINERÍA DE LA COSTA S.A. e INGENIERÍA Y MINERÍA DE OCCIDENTE S.A., y a mis compañeros de clase por su apoyo incondicional durante mi proceso de formación académica.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	10
1. INTRODUCCIÓN .....	12
<b>1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>15</b>
2. OBJETIVOS .....	17
<b>2.1. General .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2. Específicos .....</b>	<b>17</b>
3. MARCO REFERENCIAL.....	18
<b>3.1. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
3.1.1. Generalidades.....	18
<b>3.2. ANTECEDENTES .....</b>	<b>25</b>
4. ÁREA DE ESTUDIO .....	27
5. METODOLOGÍA.....	30
<b>5.1. ENFOQUE .....</b>	<b>30</b>
<b>5.2. DISEÑO METODOLÓGICO.....</b>	<b>30</b>
5.2.1. Desarrollo del primer objetivo de investigación.....	31
5.2.2. Desarrollo del segundo objetivo de investigación .....	42
5.2.3. Desarrollo del tercer objetivo de investigación .....	43
6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	44

<b>6.1. OBJETIVO 1. IDENTIFICAR LAS CARACTERÍSTICAS Y FACTORES QUE EXPLICAN EL DESEMPEÑO AMBIENTAL DE DOS OPERACIONES MINERAS DE LOS CASOS DE ESTUDIOS ANALIZADOS. ....</b>	<b>44</b>
6.1.1. Selección y definición de indicadores ambientales .....	44
6.1.2. Cálculo indicadores ambientales cantera Lomas del Caney .....	45
6.1.3. Cálculo indicadores ambientales cantera El Níspero.....	53
6.1.4. Cálculo del desempeño ambiental .....	61
6.1.5. Análisis de resultados .....	78
6.1.6. Análisis de sensibilidad.....	81
6.1.7. Comparación de casos de estudios.....	84
<b>6.2. OBJETIVO 2: ANALIZAR QUÉ POTENCIALES DE MEJORA EXISTEN EN EL MARCO DE LOS INDICADORES AMBIENTALES EVALUADOS EN EL DESEMPEÑO AMBIENTAL.....</b>	<b>87</b>
6.2.1. Potencial de mejora de los indicadores ambientales.....	87
<b>6.3. OBJETIVO 3: GENERAR PROPUESTAS DE GESTIÓN AMBIENTAL QUE PERMITAN MEJORAR EL DESEMPEÑO AMBIENTAL EN LAS OPERACIONES ESTUDIADAS.....</b>	<b>92</b>
6.3.1. Guías y documentos técnicos de consulta.....	92
6.3.2. Medidas de buenas prácticas ambientales.....	93
7. CONCLUSIONES .....	100
8. RECOMENDACIONES.....	101

BIBLIOGRAFÍA .....	102
--------------------	-----

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Características principales de caso de estudios.....	29
<b>Tabla 2.</b> Escala fundamental de comparaciones pareadas .....	39
<b>Tabla 3.</b> Escala de evaluación del desempeño ambiental .....	42
<b>Tabla 4.</b> Escala fundamental de comparaciones pareadas .....	45
<b>Tabla 5.</b> Pesos WPJ de cada una de los criterios (j) .....	61
<b>Tabla 6.</b> Matriz de dominancia interfactorial del indicador del costo .....	63
<b>Tabla 7.</b> Matriz de dominancia interfactorial del indicador actividades ambientales.....	63
<b>Tabla 8.</b> Matriz de dominancia interfactorial del indicador efectividad .....	64
<b>Tabla 9.</b> Supermatriz original y ponderada estocástica del costo .....	66
<b>Tabla 10.</b> Supermatriz original y ponderada estocástica de efectividad .....	66
<b>Tabla 11.</b> Supermatriz original y supermatriz ponderada estocástica de actividades ambientales	
67	
<b>Tabla 12.</b> Supermatriz límite de los indicadores ambientales.....	68
<b>Tabla 13.</b> Valores (Rij) de los indicadores ambientales por criterio.....	68
<b>Tabla 14.</b> Cálculo del IGDA para cada criterio (WPj) e indicadores (WIij) .....	69
<b>Tabla 15.</b> Matriz de dominancia interfactorial del indicador del costo .....	71
<b>Tabla 16.</b> Matriz de dominancia interfactorial del indicador actividades ambientales.....	71
<b>Tabla 17.</b> Matriz de dominancia interfactorial del indicador efectividad .....	72
<b>Tabla 18.</b> Supermatriz original y ponderada estocástica del costo .....	74
<b>Tabla 19.</b> Supermatriz original y ponderada estocástica de efectividad .....	74

**Tabla 20.** Supermatriz original y supermatriz ponderada estocástica de actividades ambientales

75

**Tabla 21.** Supermatriz límite de los indicadores ambientales..... 76

**Tabla 22.** Valores (Rij) de los indicadores ambientales por criterios ..... 76

**Tabla 23.** Cálculo del IGDA para cada criterio (WPj) e indicadores (WIij) ..... 77

**Tabla 24.** Análisis de sensibilidad cantera Lomas del Caney ..... 82

**Tabla 25.** Análisis de sensibilidad cantera El Níspero..... 84

**Tabla 26.** Cálculo de potencial de mejora para Lomas del Caney..... 88

**Tabla 27.** Cálculo de potencial de mejora para El Níspero..... 90

**Tabla 28.** Referentes de buenas prácticas para el sector minero..... 92

**Tabla 29.** Propuesta de mejoramiento de gestión ambiental cantera Lomas del Caney ..... 94

**Tabla 30.** Análisis costo-efectivo de las propuestas de gestión ambiental ..... 95

**Tabla 31.** Propuesta de mejoramiento gestión ambiental en cantera El Níspero..... 96

**Tabla 32.** Análisis costo-efectivo de las propuestas de gestión ambiental ..... 98

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1.** Esquema de evaluación del desempeño ambiental..... 21

**Figura 2.** Localización cantera el Níspero ..... 27

**Figura 3.** Localización cantera Lomas de Caney ..... 28

**Figura 4.** Fases definidas para el desarrollo del objetivo 1..... 31

**Figura 5.** Agrupación de los indicadores ambientales definidos para ambas operaciones mineras 37

**Figura 6.** Costos ambientales aprobados y ejecutados entre el año 2007 y 2019 ..... 46



<b>Figura 7.</b> Costos ambientales deflactados tomando como base el año 2019. ....	47
<b>Figura 8.</b> Costos ambientales deflactados del PMA por indicador. ....	48
<b>Figura 9.</b> Indicador del costo para cada indicador ambiental .....	49
<b>Figura 10.</b> Actividades ambientales del PMA por indicador.....	50
<b>Figura 11.</b> Indicador de cumplimiento de actividades ambientales por programa .....	51
<b>Figura 12.</b> Cumplimiento de efectividad por programa.....	52
<b>Figura 13.</b> Indicador de efectividad por programa .....	53
<b>Figura 14.</b> Costos ambientales aprobados y ejecutados entre el año 2007 y 2019 .....	54
<b>Figura 15.</b> Costos ambientales deflactados tomando como base el año 2019. ....	55
<b>Figura 16.</b> Costos ambientales deflactados del PMA por indicador.....	56
<b>Figura 17.</b> Indicador de costo para cada indicador ambiental .....	57
<b>Figura 18.</b> Actividades Ambientales del PMA por indicador.....	58
<b>Figura 19.</b> Indicador de actividades ambientales del PMA por indicador.....	59
<b>Figura 20.</b> Cumplimiento efectividad por programa .....	60
<b>Figura 21.</b> Indicador de efectividad por programa .....	61
<b>Figura 22.</b> Potenciales de mejora de los indicadores ambientales Lomas del Caney .....	89
<b>Figura 23.</b> Potenciales de mejora de los indicadores ambientales El Níspero.....	91

## RESUMEN

Este trabajo de investigación tuvo como propósito diseñar y analizar un indicador de evaluación del desempeño ambiental para las canteras Lomas del Caney y El Níspero ubicadas en el departamento del Valle del Cauca y Atlántico, respectivamente. En general se aplicaron 3 enfoques: Exploratorio sobre la revisión de datos de los expedientes ambientales entre los años 2007 y 2019 para entender como se ha venido implementado el sistema de gestión ambiental. Descriptivo para definir la selección, identificación y caracterización de los indicadores ambientales; e identificar guías, documentos o códigos para extraer las principales medidas de manejo ambiental y poder generar propuestas de gestión ambiental. Cuantitativo para diseñar y calcular indicadores ambientales; y luego construir un índice de desempeño ambiental adaptando componentes de la metodología de aplicación de técnicas de multicriterio, específicamente el método de proceso de red analítica y establecimiento de pesos equiproporcionales. Se utilizó el cálculo de potenciales de mejora para identificar los indicadores ambientales con mayor criticidad. Los resultados presentan que el nivel de evaluación ambiental para las canteras Lomas del Caney y El Níspero fueron de 0.85 y 0.76, respectivamente. La combinación de métodos y técnicas de normalización y ponderación de la información ambiental recolectada en los planes de manejo ambiental facilita a los directivos de las organizaciones a tomar correctamente las decisiones ambientales.

### Abstract

The purpose of this research work was to develop an indicator for evaluating environmental performance for the Lomas Del Caney and El Níspero quarries located in the department of Valle del Cauca and Atlántico, respectively. In the present study, 3 approaches were applied: Exploratory in the review of environmental registry data between 2007 and 2019 to understand

how the environmental management system has been implemented. Descriptive to define the selection, identification and characterization of environmental indicators; and identify guides, documents or codes to extract the main environmental management measures and generate proposals for environmental management. Quantitative to design and calculate environmental indicators, and then build an environmental performance index adapting the methodology to apply multiple criteria techniques, specifically the analytical analysis process method and the establishment of proportional weights to the equipment. The calculation of improvement potentials is considered to identify the environmental indicators with the highest criticality. The evaluated results indicated that the level of environmental evaluation for the Lomas Del Caney and El Níspero quarries was 0.85 and 0.76, respectively. The combination of standardization methods and techniques and the weighting of the environmental information collected in the environmental management plans of two mining operations makes it easier for the managers of the organizations to make correct environmental decisions.

**Palabras claves:** Indicador ambiental, desempeño ambiental, análisis multicriterio.

## INTRODUCCIÓN

La evaluación del desempeño ambiental constituye una herramienta importante para alcanzar la sostenibilidad de las operaciones mineras. Se elabora con el fin de brindar la información ambiental de forma oportuna y veraz al interior de las organizaciones, con el propósito de que los directivos tomen las mejores decisiones ambientales. Las operaciones mineras que deciden evaluar su desempeño ambiental aumentan las posibilidades de mejorar la imagen del sector minero; lo cual contribuye a la organización a controlar los impactos ambientales significativos y a disminuir sus costos ambientales. Esto se ve reflejado en el cumplimiento normativo hacia las autoridades ambientales y comunidades.

El desempeño ambiental de las Canteras Lomas del Caney y El Níspero se desarrolló a través de la selección y diseño de indicadores ambientales que relaciona el entorno ambiental con respecto a la actividad minera. De esta forma se recopiló información ambiental existente de los planes de manejo ambiental donde se han asentado las operaciones. Para proponer las estrategias del desempeño ambiental se enfocó la investigación sobre los indicadores de costos, actividades ambientales y efectividad. Además, se presenta el análisis de la información ambiental entre el año 2007 y 2019 de ambas operaciones mineras por cada programa e indicador encontrado, construyendo tablas y gráficos para mejor interpretación.

El trabajo realizado muestra información valiosa para formular estrategias de mejora para la gestión ambiental de dos canteras. Esto se llevó a cabo adaptando el método de proceso de red analítica ANP y establecimiento de pesos equiproporcionales; lo cual permitió la ponderación de los indicadores y el cálculo del índice global del desempeño. Finalmente, se generaron propuestas de mejoramiento ambiental sobre los indicadores de mayor criticidad.

El desarrollo de esta investigación representa un paso adelante para lograr que las operaciones mineras continúen posicionándose en la industria de materiales de construcción, ya que al contar con una estructura de evaluación del desempeño ambiental se logra fortalecer su gestión ambiental. Además, de lograr en el tiempo y a través de controles su eficacia y permanencia en el sector minero.

## **1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

Las organizaciones deben disponer de la información ambiental a tiempo real, veraz y consistente sobre el estado de los aspectos ambientales y de las actividades que puedan generar afectaciones negativas. De esto depende definir las medidas administrativas destinadas a la protección del Ambiente (Convenio de Aarhus, 1998, p. 6-7). Descrito lo anterior, la cantera El Níspero y Lomas del Caney, actualmente se les dificultad integrar la información ambiental ejecutada de sus planes de manejo ambiental en un indicador compuesto que les permita calcular el desempeño ambiental de sus operaciones mineras.

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

Según NC-ISO 14031 (ISO, 2005) la evaluación del desempeño ambiental es el proceso utilizado para facilitar al departamento ambiental la toma de las decisiones ambientales con respecto al desempeño ambiental de la organización mediante la selección, la recopilación y el análisis de datos. En las organizaciones se ha identificado que las estrategias utilizadas para evaluar el desempeño ambiental se desarrolla para dar cumplimiento a los requisitos contractuales que exigen las interventorías ambientales y las autoridades ambientales. Esto conlleva a que los directivos se preocupen más por llevar al día los soportes documentales para cumplir solamente con lo estipulado en la legislación ambiental. Las organizaciones no solo deben conocer su desempeño ambiental sino evaluarlo para identificar avances y retrocesos en la relación de la organización con el medio ambiente (ISO, 2005). Eso hace que evaluar el desempeño ambiental sea complejo, ya que no se evidencia un modelo o procedimiento que contabilice el desempeño basado en indicadores ambientales que presentan múltiples dimensiones. Además, las organizaciones asumen implementar el desempeño como un gasto económico y no como un beneficio que les permita ser más competitivo en el mercado. En este contexto, limita a la organización a analizar la información ambiental de múltiples dimensiones que se recolectan de los planes de manejo ambiental. Además, existen retos metodológicos para integrar indicadores ambientales e identificar potenciales de mejora; lo cual no permite minimizar los costos ambientales que se incurren por el desarrollo de la actividad extractiva.

En muchos de los casos, se encuentra que el desempeño ambiental no se adopta en las organizaciones como un verdadero instrumento dentro de la gestión ambiental. Según NC-ISO 14001 (ISO, 2005) esto hace que los directivos de las organizaciones no puedan planear una política ambiental clara y definida.

El instrumento metodológico adaptado en esta investigación contribuye a aportar posibles soluciones a la gestión ambiental de ambos casos de estudios, ya que permite a la organización tener la capacidad de monitorear y evaluar su plan de gestión ambiental. El cual, es útil para medir el nivel del desempeño ambiental. Con lo anterior, las operaciones mineras pueden entender qué factores ambientales inciden en la generación de los indicadores ambientales. El índice de desempeño permite evaluar si se está avanzando o no en la gestión ambiental. Lo cual, facilita a los directivos de las organizaciones, a los reguladores ambientales y a las comunidades afectadas a tomar decisiones ambientales acertadas.



## **OBJETIVOS**

### **2.1. GENERAL**

Construir un indicador de evaluación del desempeño ambiental para las canteras Lomas del Caney y El Níspero.

### **2.2. ESPECÍFICOS**

- Identificar las características y factores que explican el desempeño ambiental de dos operaciones mineras de los casos de estudios analizados
- Analizar qué potenciales de mejora existen en el marco de los indicadores ambientales evaluados en el desempeño ambiental
- Generar propuestas de gestión ambiental que permitan mejorar el desempeño ambiental en las operaciones estudiadas

## MARCO REFERENCIAL

### 3.1. MARCO TEÓRICO

A partir del año 1987 con la definición del desarrollo sostenible en los sectores productivos se ha evidenciado una reflexión por parte de las organizaciones en la protección del Ambiente. Esto de la mano de la aparición de una legislación ambiental cada vez más estricta al pasar los años. Lo anterior, ha impulsado a que existan estándares ambientales destinados a la conservación de los recursos naturales y mitigación de los impactos ambientales más significativos. En la actualidad muchas de las organizaciones se encuentran implementando herramientas para evaluar el tratamiento de la información ambiental que les permita calcular su desempeño ambiental. (véase: Dias-Sardinha & Reijnders, 2005; Luz et al., 2006; Ramos & Melo, 2006; Gunningham, 2009; Sellitto et al., 2010; Raupp, 2012; Comoglio & Botta, 2012)

#### 3.1.1. Generalidades

El origen del concepto del Triple Bottom Line (TBL) surgió por primera vez en la década de los 90 y se popularizó con la publicación del libro *Caníbales con Horquillas: El triple resultado del negocio del siglo XXI*; cuyo autor es el británico John Elkington. El concepto del TBL aparece “como marco contable para medir el desempeño organizacional, incluidas las dimensiones sociales y ambientales, además de la dimensión financiera tradicional” (Elkington, 1997). La definición del TBL según Hubbard (2009) es que mide el desempeño de las organizaciones en los diferentes grupos de Stakeholders, en este caso empleados, proveedores y clientes. Esto contribuyó a que las organizaciones buscaran eliminar o reducir los aspectos que afectan negativamente los beneficios. Lo anterior, permite maximizar su beneficio tanto

económico como ambiental de las empresas, lo cual ayuda a mejorar la imagen corporativa y competitiva en el mercado.

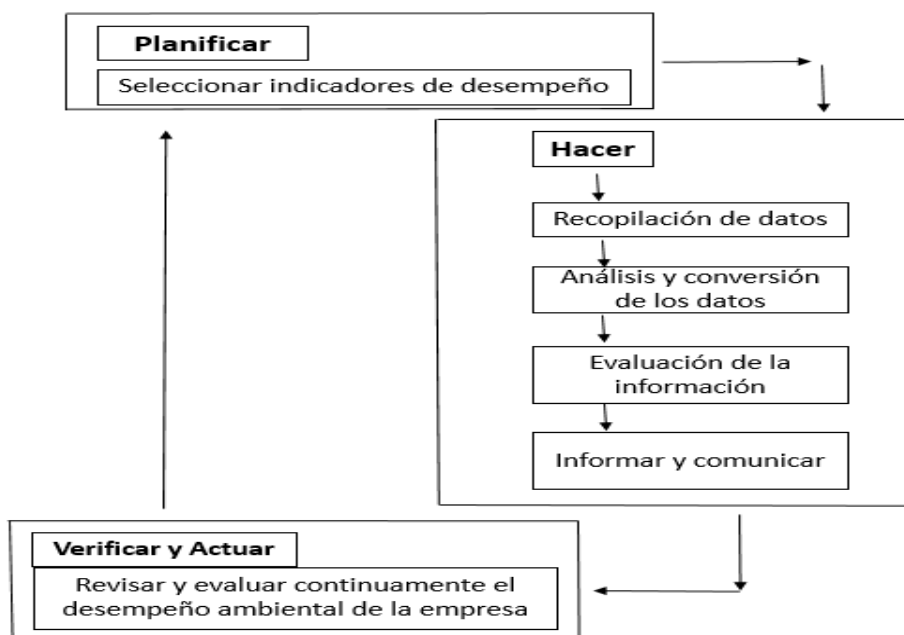
### **3.1.1.1. Fundamentación teórica**

Entre los documentos que brindan valiosa información sobre la importancia de la gestión ambiental de los ecosistemas donde se acentúan las actividades productivas, industriales, entre otras, se destaca la norma ISO 14001 (2004). En la cual, la gestión ambiental se define como la herramienta que permite controlar todos los aspectos que pueden minimizar e incluso eliminar todos los impactos que generen las actividades llevadas a cabo por la organización. En esa norma se plantea el concepto de sistema de gestión ambiental que se basa en la gestión de causa y efecto, donde las actividades, los productos y los procesos de su compañía son las causas o los aspectos y sus efectos resultantes, o efectos potenciales, sobre el medio ambiente son los impactos (Roberts & Robinson, 2003, pág. 2). Los sistemas de gestión ambiental necesitan de la información disponible en forma escrita, visual, oral, o en forma de base de datos sobre el estado de las aguas, el aire, el suelo, la fauna, la flora, las tierras y espacios culturales y sobre las actividades o medidas sobre las que afecten o puedan afectarles, y sobre las actividades y medidas destinadas a protegerlas, incluidas las medidas administrativas y los programas de gestión del medio ambiente (Convenio de Aarhus, 1998, p. 6). Debido a lo anterior, las organizaciones comenzaron a almacenar datos de la gestión ambiental de las actividades productivas que se adelantan. Esto permite entender y comprender el estado del ambiente con el fin de generar mecanismos de protección sobre los diferentes aspectos. A partir de la información ambiental es posible evaluar el desempeño ambiental. El cual se define como los resultados medibles de la gestión que hace una organización de sus actividades, de productos y/o servicios que puede interactuar con el medio ambiente. Las organizaciones no

solo deben conocer su desempeño sino evaluarlo para identificar avances y retrocesos en la relación de la organización con el medio ambiente, puede ser medido, no puede ser gestionado (NC-ISO 14031, ISO 2005). Lo anterior, es un paso importante para evaluar la gestión ambiental de las organizaciones en aquellos ecosistemas donde se han establecido sus actividades. Esto debido a que el desempeño permite almacenar y evaluar información ambiental a tiempo real por los diferentes equipos interdisciplinarios que conforma el departamento ambiental en las organizaciones. El cual, contribuye a que se lleven a cabo revisiones periódicas, continuas y/o mejoras a los aspectos que han sido alterados producto de la iteración existente entre Ambiente - Organización.

La evaluación del desempeño debe ser multidimensional y no limitarse a informes, pues estos no integran los múltiples factores que afectan el desempeño ambiental empresarial (Barnes et al., 1999, p. 76-79). Según Godínez et al., (2010) el desempeño son las características y procesos de la organización que permiten ordenar la información ambiental para la toma de decisiones; lo que ha proporcionado a las empresas a tener una mejor comunicación con el entorno a cerca de su gestión ambiental. El esquema de la evaluación del desempeño según NC-ISO 14001 (2005) sigue el modelo de gestión planificar-hacer-verificar-actuar que se detalla en la figura 1; la cual muestra el paso a paso de como las organizaciones pueden llegar a integrar sus indicadores ambientales. Esto permite evaluar constantemente el índice de desempeño y facilita a los directivos a interpretar y analizar la información ambiental de las empresas. Con lo anterior, se pueden tomar medidas preventivas o correctivas sobre el Ambiente.

**Figura 1.** Esquema de evaluación del desempeño ambiental



Fuente: NC-ISO 14001, 2005

Para evaluar el desempeño se pueden usar indicadores ambientales previamente definidos a partir de la información de las organizaciones. Estos indicadores de desempeño representan la cuantificación de la efectividad y eficiencia de las acciones ambientales con un conjunto de métricas (Neely, et al., 1995). El desempeño hace referencia a la medida de interacción entre la organización y el medio ambiente (Olsthoorn, et al., 2001, p. 453-463). Los indicadores representan las mediciones cualitativas y cuantitativas, financieras o no financieras, que proporcionan información importante sobre el impacto ambiental, cumplimiento regulatorio, las relaciones con las Stakeholders y los sistemas organizacionales (Henri, et al., 2008, p. 165-176). Según Herva, et al., (2011) es una herramienta para el seguimiento y monitoreo continuo del desempeño de las organizaciones; el cual permite medir el desempeño actual o pasado de una organización y lo compara contra las metas definidas por la dirección.

Dentro de la utilidad de los indicadores se destacan las siguientes: Al realizarse una revisión detallada de las distintas funciones de los indicadores para nuestros casos de estudios; se señaló la necesidad de identificar los puntos débiles y los potenciales de optimización, ilustrar mejoras medioambientales en un análisis de series temporales, detectar potenciales de optimización, evaluar el comportamiento medioambiental en comparaciones entre empresas e identificar oportunidades de mercado y potenciales de reducción de costes (IHOBE, 2013, pág. 8). Por lo anterior, se concluye que los indicadores dan alerta a las organizaciones sobre los diferentes procesos internos que presentan mayor criticidad. Según Henri, et al., (2008) existen tres razones principales para la creciente necesidad y adopción de los indicadores de desempeño ambiental: La primera, las organizaciones están siendo responsabilizadas cada vez más por sus acciones; esto es reflejado por el número creciente de leyes, regulaciones y multas en esta área. Los indicadores de desempeño ambiental son necesarios para proporcionar información para los decisores, mientras aseguran el logro de objetivos, y la tercera la asignación de las organizaciones de limitados recursos para la solución de problemas requiere de evidencia persuasiva que ilustren los beneficios de esas acciones.

Los sistemas de indicadores ambientales más usados se pueden clasificar de la siguiente forma: El primero, según OECD (1994) se definen como un modelo de Presión-Estado-Respuesta (PER). El segundo, según NC-ISO 14031 (2005) se estructuran en indicadores de desempeño ambiental y de condición ambiental. El tercero, según el GRI (2006) los indicadores comunican el desempeño ambiental. A continuación se presenta una descripción de cada una de las clasificaciones de los indicadores ambientales: Según el Instituto de Incidencia Ambiental (2004) los indicadores PER corresponde a las actividades humanas que ejercen presión sobre el medio y cambian su calidad y la cantidad de los recursos naturales. La sociedad

responde a esos cambios a través de políticas ambientales sectoriales y económicas. Esto crea un círculo causa-efecto hacia las actividades humanas de presión. Los indicadores se pueden clasificar de la siguiente manera: indicadores de presión (reflejan presiones directas sobre el medio, por ejemplo las emisiones de CO<sub>2</sub> y crecimiento de la población), indicadores de estado del medio ambiente (describen la calidad del medio flora, fauna, suelo, aire y agua y de los recursos naturales asociados a procesos de explotación socioeconómica) y los indicadores de respuesta (indican el nivel de esfuerzo social y político en materia ambiental y de recursos naturales). Los indicadores de desempeño ambiental y de condición ambiental según NC-ISO (2005) son de notable interés, ya que clasifica los indicadores para la evaluación del desempeño ambiental en dos grandes grupos. El primero, los indicadores de desempeño son las expresiones específicas que proporcionan información sobre el desempeño ambiental de una organización. El segundo, los indicadores de la condición que proporcionan información sobre la condición ambiental. Esta información puede ayudar a una organización a comprender el impacto real o potencial de sus aspectos ambientales. Sin embargo, según Medel-González et al., (2015) indica que estos indicadores no han tenido una amplia aceptación en el sector empresarial, no siendo así a niveles gubernamentales, ya que su enfoque es más bien macro.

Los indicadores de desempeño ambiental de Global Reportan Initiative (GRI) están diseñado para usarse en las organizaciones de cualquier sector productivo sin importar su tamaño. Además, intenta servir como modelo para revisar el desempeño económico, ambiental y social. El GRI ayuda a las instituciones para presentar un balance y una vista razonable de su desempeño económico, ambiental y social facilitando la interacción y comunicación con las partes interesadas. El GRI es útil porque permite definir, seleccionar, evaluar e integrar información ambiental para interpretar la gestión ambiental en las organizaciones. Esto hace

que los resultados se presenten de forma fácil y rápida (GRI, 2006). Los indicadores de desempeño anteriormente descritos, se pueden incluir dentro de un sistema de medición de desempeño ambiental que son el conjunto de métricas utilizadas para cuantificar la eficiencia y la efectividad de las acciones ambientales de una organización (Neely, et al., 1995). Los sistemas exitosos son un conjunto de medidas de rendimiento (es decir, una métrica utilizada para cuantificar la eficiencia y la efectividad de la acción) que proporciona a la empresa información útil. Esto ayuda a gestionar, controlar, planificar y realizar las actividades realizadas: Existen tres clases de sistemas: De tercera clase, donde se utilizan principalmente medidas de rendimiento tradicionales y los requisitos de los sistemas son bastante bajos; de segunda clase, los cuales tiene una visión del rendimiento mucho más equilibrada que las medidas no financieras de la clase anterior y se consideran diferentes horizontes temporales; finalmente de primera clase, que son los más avanzados que cubren una gran cantidad de requisitos, capaces de explicar las relaciones causales en la organización, teniendo en cuenta las necesidades de las partes interesadas e integrando bases de datos y sistemas de información (Tangen, 2005, págs. 46-54). Un paso importante del concepto se logró en el año 2006, en donde establecieron que la medición del desempeño de la sostenibilidad requiere: Que la administración defina los objetivos y criterios de lo que se entiende por desempeño de la sostenibilidad corporativa en una interacción comunicativa con las partes interesadas, y que establezca un sistema de información, medición e informes que respalde la administración y la comunicación de los indicadores y problemas que son clave para las partes interesadas y el éxito del negocio (Wagner, et al., 2006, pág. 453-463).



### 3.2. ANTECEDENTES

A partir de la revisión y análisis de la literatura bibliográfica investigada se evidenciaron los siguientes casos de estudios que implementaron la evaluación del desempeño ambiental (EDA) en sus organizaciones: El primer caso de estudio describe al sector energético de Cuba. Se aplicó la EDA específicamente en 4 centrales eléctricas. Se detectaron los siguientes elementos: El procedimiento facilitó la selección y cálculo de indicadores ambientales tomando como base herramientas, tales como: ISO 14031, la metodología de gestión Balance Scorecard (BSC) y métodos para la toma de decisiones multicriterio, específicamente el Analytic Network Process (ANP). El procedimiento para el cálculo del índice global de desempeño ambiental se realizó en base al nivel de cumplimiento de las metas y los indicadores. Esto permitió identificar puntos críticos y oportunidades de mejora. Luego, se enfocaron esfuerzos sobre los indicadores más débiles y así poder resolver los puntos críticos (Medel-González, et al., 2015).

El segundo caso de estudio describe al sector minero en Chile. Se propone el análisis y uso de indicadores ambientales para realizar la evaluación del desempeño ambiental en la industria minera: Se realizó la evaluación detallada de los aspectos ambientales, sociales y económicos más importantes de la organización. Se explica a través de la descripción de ejemplos por fase de un proyecto, cuáles podrían ser los indicadores más adecuados en el contexto de evaluar el desempeño ambiental de la organización. Se concluye que el uso de indicadores ambientales para la evaluación del desempeño ambiental es un importante mecanismo de evaluación de la sostenibilidad de la industria minera (Soares, et al., 2004).

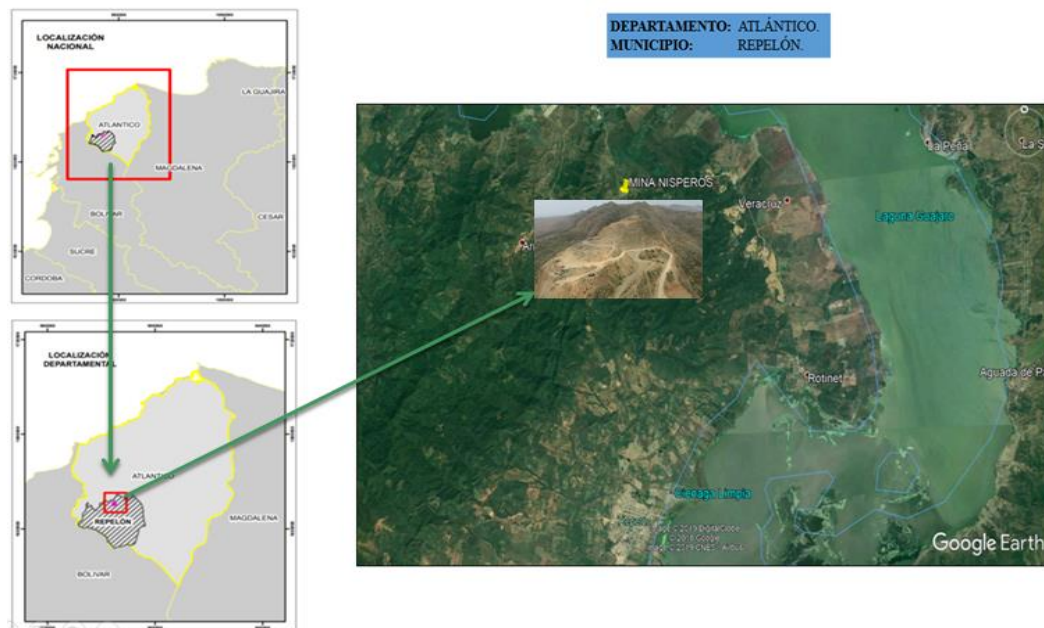
El tercer caso de estudio describe al sector minero (carbonífero) en Colombia. Se elaboró una guía carbonífera para puertos de Colombia-Drummond Ltda., la cual presenta el procedimiento de evaluación de desempeño ambiental. Se detectaron los siguientes elementos: Se tomaron tres indicadores ambientales: El indicador del Plan de Manejo Ambiental, el indicador de gestión de permisos ambientales y el indicador de impacto ambiental para la obtención de un indicador global de gestión ambiental de la organización. El cual, permite evaluar el nivel de gestión ambiental y de esta manera lograr un mejoramiento continuo a través del tiempo mediante medidas de manejo que sean mucho más efectivas (IDEAM, 2000).

## ÁREA DE ESTUDIO

### Ubicación geográfica

Este proyecto de investigación toma como caso de estudio dos proyectos mineros localizados en diferentes lugares del territorio colombiano. El primer proyecto minero denominado Cantera El Níspero se encuentra ubicado en la vereda El Níspero, en el municipio de Repelón, al Sur-Occidente del departamento del Atlántico. En la figura 2 se muestra la ubicación de la cantera El Níspero respecto al embalse el Guájaro y la cabecera municipal. Según el PDT (2016) este municipio tiene una altitud de 9 m.s.n.m, una temperatura promedio de 28°, una extensión de 330 km<sup>2</sup> y un número de 26.095 habitantes. La economía del municipio se basa en la sobreexplotación de canteras en cercanías de humedales y arroyos, aportando a su sedimentación y desecación (PDT, 2016). Lo anterior, ha ocasionado el daño del embalse El Guájaro, el cual se constituye como reserva hídrica (PDT, 2016).

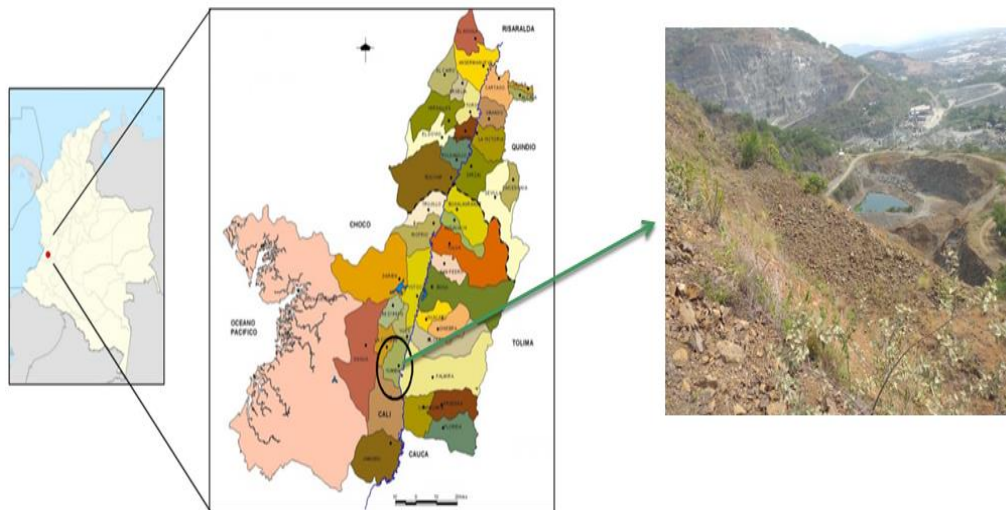
**Figura 2.** Localización cantera el Níspero



Elaboración propia con datos de INGENCOST S.A.

El segundo proyecto minero denominado cantera Lomas del Caney, se encuentra ubicado en la vereda Arroyohondo en el municipio de Yumbo, al norte del departamento del Valle del Cauca. En la figura 3 se muestra la localización de la cantera Lomas del Caney respecto a la cabecera municipal. Según la Alcaldía Municipal de Yumbo (2015) este municipio tiene una altitud promedio de 1.021 m.s.n.m, una temperatura promedio de 25°, una extensión de 243 km<sup>2</sup> y un número de 117.156 habitantes. Según el POT (2001) el municipio de Yumbo se ha convertido en una zona de alta complejidad industrial; lo que ha permitido el crecimiento del sector de la construcción. Es por esto que gran parte de los suelos presentan vocación de explotación minera, agropecuaria, urbanístico, entre otras. El cual, ha generado un conflicto socio-ambiental, ya que las comunidades locales han sido excluidas en las diferentes actividades industriales que se han venido asentando en la cuenta del Río Yumbo.

**Figura 3.** Localización cantera Lomas de Caney



Elaboración propia con datos INGEOCC S.A.

La principal diferencia entre ambos casos de estudios es la presencia de comunidades locales en las áreas de influencia de los proyectos mineros. Esto significa que las operaciones mineras tienden a ser más sensibles en sus procesos, ya que pueden afectar negativamente a las poblaciones aledañas. Un claro ejemplo, son los impactos severos o críticos en el componente

de calidad del aire los cuales están determinados por el deterioro de la salud de las personas más vulnerables, mientras que impactos moderados o irrelevantes para el mismo componente se asocian con aumento de material de particulado. En la tabla 1 se muestra que para la cantera Lomas Del Caney la explotación minera se realiza con arranque químico en una área de 12 ha muy cercana a la población; mientras que la cantera El Níspero la explotación minera se realiza con arranque mecánico en un área de 23 ha sin presencia de población.

**Tabla 1.** *Características principales de caso de estudios*

Aspectos	Lomas de Caney	Níspero
Presencia de comunidades locales en área de influencia	SI	NO
Tipo de explotación	Diabasa	Conglomerado
Arranque del mineral	Explosivos	Mecanizado
Impactos significativos (componente)	Calidad de aire	Calidad de aire y paisaje
Extensión del proyecto (ha)	12	23

Elaboración propia con datos de INGEOCC e INGECOST S.A.

INGEOCC S.A., corresponde a la cantera Lomas Del Caney, mientras que INGECOST S.A., a la cantera El Níspero; las cuales representaron en el año 2015 el 9.5% y 8.4% de la producción de agregados pétreos a nivel nacional, respectivamente (Mundo minero, 2016). Estas empresas mineras de diferente razón social son administradas por una oficina central ubicada en la ciudad de Bogotá D.C. Actualmente, ambas explotan minerales para la construcción y son unas de las pocas empresas del sector que cumplen con el marco legal ambiental en cada una de sus regiones. La cantera El Níspero se encuentra ubicada en un ecosistema de Bosque Seco Tropical digno de conservación y sus impactos ambientales severos se focalizan sobre la flora y fauna. La cantera Lomas Del Caney se encuentra en un ecosistema de Bosque Seco Tropical impactado por actividades industriales por más de 50 años y fuertes incendios forestales; esto género que el ecosistema se transformará hacia una vegetación secundaria. Los impactos ambientales severos se focalizan en el componente atmosférico y comunidades cercanas debido a las continuas detonaciones que se realizan.

## **METODOLOGÍA**

### **5.1. ENFOQUE**

El primer enfoque de la investigación es exploratoria: Se revisaron los datos de los expedientes ambientales entre los años 2007 y 2019 para entender como se ha venido implementado el sistema de gestión ambiental de ambas operaciones mineras. El segundo enfoque es la investigación de carácter descriptivo: En esta etapa, se realizó la recopilación de la información ambiental. Se definió la selección, identificación y caracterización de los indicadores ambientales. Se tomó como base la revisión de los planes de manejo ambiental, el marco normativo y el histórico contable del rubro ambiental de las operaciones mineras. Finalmente, se analizó la identificación de guías, documentos o códigos que permitió extraer las principales medidas de manejo ambiental, y así se generó las propuestas de mejora para los indicadores de mayor criticidad. El tercer enfoque es la investigación de carácter cuantitativo: En esta etapa, se diseñaron y calcularon indicadores ambientales, y luego se diseñó y construyó un índice de desempeño ambiental. Para analizar las relaciones entre indicadores dentro del índice se adaptó la metodología de aplicación de técnicas de multicriterio que permitió su ponderación, y se expresó en forma de % del valor total. Por último, se utilizó el cálculo de potenciales de mejora para identificar los valores atípicos dentro del anillo radial.

### **5.2. DISEÑO METODOLÓGICO**

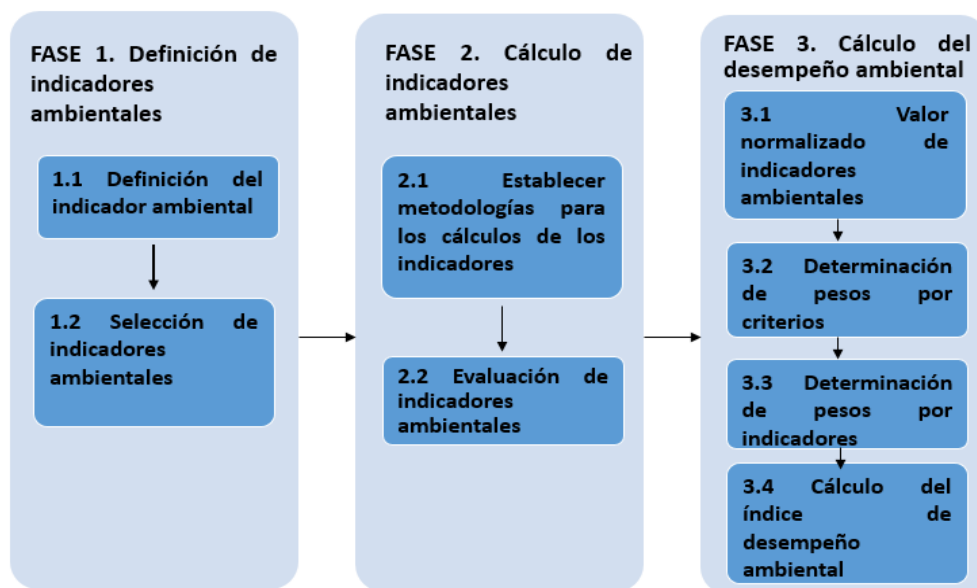
Esta investigación se centra en estimar un indicador para la evaluación del desempeño ambiental de dos operaciones mineras. Esto a partir de la información ambiental recolectada por los directivos que integran las organizaciones. Los enfoques de los indicadores definidos para el cálculo del índice compuesto se asemejan a la clasificación de los indicadores de

condición ambiental. Estos indicadores se integran en un índice compuesto para monitorear continuamente los resultados de la gestión ambiental de la organización.

**5.2.1. Desarrollo del primer objetivo de investigación**

En la figura 4 se resume las fases metodológicas planteadas en la investigación. Para cada fase se describen los procedimientos a ejecutarse para calcular el índice del desempeño ambiental de ambas operaciones mineras. Los pasos de cada fase se explican a continuación:

**Figura 4.** Fases definidas para el desarrollo del objetivo 1



Elaboración propia

**Fase 1. Definición de indicadores ambientales**

Los indicadores son estadísticas, serie estadística o cualquier forma de indicación que nos facilita estudiar donde estamos y hacia donde nos dirigimos con respecto a determinados objetivos y metas, así como evaluar programas específicos y determinar su impacto (Bauer, 1966, citado por Mondragón, 2002, p. 1). En esta investigación el índice global está compuesto por diferentes indicadores que se definieron de acuerdo con el esquema normativo de la gestión ambiental organizacional para Colombia, el cual está compuesto de estudios de impacto

ambiental y planes de manejo consecuentes con esta evaluación que son analizados y aprobados por las autoridades competentes. En este contexto, se consideraron los costos, las actividades y efectividad. Los costos se encuentran relacionados con las actividades productivas de las empresas, que en menor o mayor nivel son ofensoras al ecosistema (Laporta, 2010, citado por Garmendia et al., 2003, citado por Bohórquez et al., 2018, p. 3). Se debe tener conocimiento de las actividades ambientales en la gestión como fundamento de costo, ya que guardan relación directa con los procesos mineros. Estas permiten identificar los costos incurridos por el cumplimiento de acciones ambientales ineludibles, tales como: Acciones de prevención, control y restauración. (Pelegrin y Ortiz, 2014; Garmendia et al., 2003, citado por Bohórquez et al., 2018, p. 4). La efectividad es el logro de los resultados programados en el tiempo y con los costos más razonables posibles (Mejía, 1998). Los tres conceptos anteriores permiten analizar la información ambiental de los impactos más significativos de las organizaciones lo cual facilita la toma de decisiones ambientales.

## **Fase 2. Cálculo de indicadores ambientales**

Un programa se define como la secuencia ordenada de acciones necesarias para obtener determinados resultados en plazos de tiempos establecidos (Landa, 1976, citado por Arboleda et al., 2013, p. 12). En las organizaciones se tienen aprobado programas ambientales que son la forma mediante la cual se obtienen los objetivos y metas (ISO 14001, 2015). Del plan general, un plan de manejo ambiental tiene fichas ambientales donde se incluyen programas, proyectos, costos, indicadores y duración de las actividades en todos sus componentes. A continuación se describen los indicadores, sus ecuaciones y características principales con las que se realizó el cálculo de los indicadores ambientales definidos para ambas operaciones:



### Indicador de cumplimiento del costo (IC)

El indicador de cumplimiento del costo son los datos financieros, operativos, logísticos y de control que se obtienen por medio de sistema de información de costo y que se utilizan para la toma de decisión empresarial (Rincón, 2011, p. 2). En este sentido, este indicador mide el rubro ambiental gastado por las operaciones mineras para dar cumplimiento a los 7 programas ambientales aprobados por la autoridad ambiental. La ecuación 1 corresponde al indicador del cumplimiento del costo y estas representan cada uno de los programas ambientales. Donde  $IC_i$  es el indicador de cumplimiento del costo  $i$ , cuyo valor oscilará entre 0 y 1,  $Cae_i$  es el costo ambiental ejecutado, cuyo valor se expresa en términos monetario (\$), y el  $Cap_i$  es el costo ambiental total presupuestado, cuyo valor también se expresa en valor monetario (\$). El subíndice  $i$  representa cada programa ambiental del indicador del costo y se expresa en valores monetarios.

$$IC_i = \frac{Cae_i}{Cap_i} * 100\% \quad (Ecuación 1)$$

Entre mayor sean los valores  $IC_i$ , es decir que oscilen cercanos al 100% indica que la organización incurre en altos costos de manejo ambiental dentro de cada programa ambiental. En cambio entre menor valor sea  $IC_i$ , es decir que sus valores oscilen cercanos al 0% indica que la organización no asigna dentro del rubro ambiental de estas operaciones los costos necesarios para dar cumplimiento a las medidas de manejo ambiental. La ecuación 2 describe la sumatoria de cada programa ambiental.

$$IC_i = \sum_I^n IC_i \quad (Ecuación 2)$$

Para realizar la comparación de los costos ambientales ejecutados con los aprobados del plan de manejo ambiental entre los diferentes intervalos tiempo (años 2007-2019) se empleó el

procedimiento de deflactar. El origen del concepto de deflactar en términos económicos sigue siendo un misterio. Sin embargo, con la publicación del libro *Trade and Credit* cuyo autor es el británico Ralph Hawtrey introduce el concepto deflactar en repetidas ocasiones y lo define como la conversión de los valores nominales o valores corrientes de una variable, en valores reales, es decir, a precios constantes. (Hawtrey, 1928, citado por la Universidad de Alcalá, 1999, p. 2). Los valores fueron ajustados usando información del Índice de Precio del Consumidor (IPC) del DANE. En este sentido, la comparación de los indicadores de cumplimiento del costo expresados en términos monetarios se realizó haciendo la división del coeficiente deflactor de cada año sobre el coeficiente deflactor base del año 2019. Luego, para identificar el valor real o constante de los costos se realizó la división de los costos ambientales y aprobados sobre el coeficiente deflactor calculado para cada periodo de tiempo.

### **Indicador de cumplimiento de las actividades ambientales (ICAA)**

El indicador de cumplimiento de las actividades ambientales establece de manera detallada, las acciones que se implementarán para prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos o efectos negativos que se causen por el desarrollo de un proyecto, obra u actividad (MAVDT, 2003). Por tal motivo, este indicador mide el grado de ejecución de las actividades ambientales encaminadas a mejorar las condiciones ambientales en que se desarrolla la operación minera. La ecuación 3 corresponde al indicador de las actividades ambientales y estas representan cada uno de los programas ambientales en donde  $ICAA_i$  es el indicador de cumplimiento de las actividades ambientales del programa  $i$ , cuyo valor oscilará entre 0 y 1, el  $Nae_i$  son las actividades ambientales ejecutadas, se expresa en valores numéricos, y  $Na_i$  son las actividades ambientales aprobadas y se expresa en valores numéricos.

$$ICAA_i = \frac{Nae_i}{Na_i} * 100\% \quad (\text{Ecuación 3})$$

Entre mayor sea  $ICAA_i$  implica que la organización ha ejecutado correctamente las fichas del plan de manejo ambiental. En cambio entre más cercanos a 0 indica que las afectaciones a los ecosistemas por la implementación del proyecto continuarían sin mitigarse o prevenirse. La ecuación 4 describe la sumatoria de los indicadores de programa ambiental. El subíndice  $i$  representa cada programa ambiental del indicador de las actividades ambientales y se expresa en valores numéricos.

$$ICAA_i = \sum_1^n ICAA_i \quad (\text{Ecuación 4})$$

### **Indicador de efectividad (IE)**

El indicador de efectividad es la relación entre los resultados, previstos y no previstos, y los objetivos (Aedo, 2005, citado por Rojas et al., 2018, p. 4). Por lo anterior, este indicador mide la capacidad que tiene una organización para dar cumplimiento a su sistema de gestión ambiental. La ecuación 5 corresponde al indicador de efectividad y estas representan cada uno de los programas ambientales. En donde  $IE_i$  es el indicador de efectividad para el programa  $i$ , cuyo valor oscilará entre 0 y 1,  $Pmi$  son los parámetros legales monitoreados; es decir lo que exige la autoridad ambiental en la licencia ambiental, por ejemplo (PM10, PST, DBO, Áreas a compensar, entre otros), se expresa en valores numéricos y  $Pla_i$  son los parámetros legales aprobados en la licencia ambiental, se expresa en valores numéricos y luego se hace un conteo de los parámetros legales que exige la autoridad ambiental.

$$IE_i = \frac{Pm_i}{Pla_i} * 100\% \quad (\text{Ecuación 5})$$

Entre mayor sea  $IE_i$ , implica que la efectividad oscila a valores numéricos cercanos al 100% indica que la organización ha cumplido con las obligaciones legales acaecidas dentro de la licencia ambiental. En cambio entre menor sea  $IE_i$ , es decir que la efectividad oscila a valores

numéricos cercanos a 0 indica que la organización no está cumpliendo con sus obligaciones legales. La ecuación 6 es una expresión matemática que describe la sumatoria de cada programa ambiental. El subíndice  $i$  representa cada programa ambiental del indicador de efectividad y se expresa en valores numéricos.

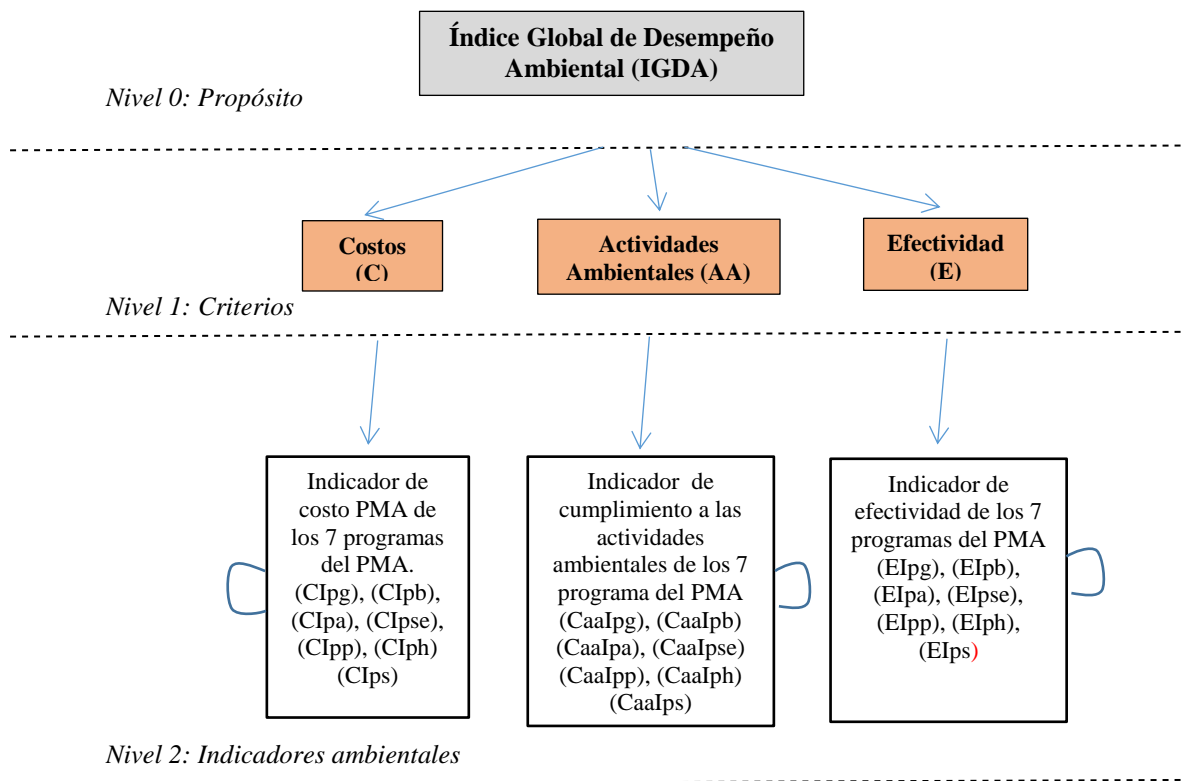
$$IE_i = \sum_1^n IE_i \quad (\text{Ecuación 6})$$

### **Fase 3. Cálculo del desempeño ambiental**

La medición y evaluación del desempeño ambiental, ha sido ampliamente abordado en la literatura internacional (Véase: Dias-Sardinha & Reijnders, 2005; Luz et al., 2006; Ramos & Melo, 2006; Gunningham, 2009; Sellito et al., 2010; Raupp, 2012; Comoglio & Botta, 2012); como también en el ámbito nacional (Véase: González & Echeverry, 2019; OCDE, 2014; Manrique et al., 2014; Zambrano et al., 2017; Universidad de Manizales, 2012) en los que se evidencia que existen numerosos esfuerzos en las organizaciones por desarrollar un procedimiento metodológico que permita su cálculo. En este trabajo se presenta una metodología para el cálculo de un índice global de desempeño ambiental de operaciones mineras desde tres dimensiones de los planes de manejo ambiental, la financiera, la técnica y operativa. En la figura 5 se presenta la información ambiental que permitió definir un conjunto de indicadores para luego agruparlos por criterios ambientales. Las flechas indican como se encuentran agrupados los criterios por indicador ambiental. El propósito corresponde a lo que el investigador desea responder. En este caso es determinar el desempeño ambiental de las operaciones mineras; es decir medir el nivel de evaluación de la gestión ambiental. Los criterios se definieron en tres grandes áreas que son: efectividad, costos y actividades ambientales. Estos tres criterios son importantes para la gestión ambiental, ya que permiten monitorear el nivel del cumplimiento del plan de manejo ambiental, cumplir con la legislación ambiental y a las

organizaciones a la toma de las decisiones. Lo anterior, permite a la organización priorizar sus esfuerzos para fortalecer el criterio que presente un desempeño ambiental bajo.

**Figura 5.** Agrupación de los indicadores ambientales definidos para ambas operaciones mineras



Elaboración propia con datos de INGEOCC e INGECCOST S.A.

Este trabajo estima los pesos de los 21 indicadores ambientales definidos en la fase 1 para luego integrarlos en un indicador compuesto que permitió el cálculo del índice global de desempeño ambiental. Esto es útil en las organizaciones, ya que facilita la toma de las decisiones ambientales. Para desarrollar los cálculos de los indicadores se propuso usar métodos de toma de decisión multiobjetivo (MADM). Estos métodos son utilizados para resolver problemas de decisión tipo discreto dado que el número de alternativas no es muy elevado, por lo que se considera finito. (Córdoba, 2004; Romero, 1993, citado por Tafernaberi, 2018). Según Babu et al., (2006) citado por Tafernaberi, 2018 se basa en la elección de la alternativa

bajo una serie de criterios, y los diseños de las posibles alternativas son definidos por jerarquía. El método MADM comprende diferentes métodos tipo discreto, tales como: Enfoques basados en métodos de superación, métodos de distancia y métodos en comparaciones a pares. El método utilizado para la investigación de los dos casos de estudios es el método en comparaciones a pares, y este a su vez se clasifica en tres metodologías, tales como: proceso de jerarquía analítica (AHP), proceso de red analítica (ANP) y MACBETH. (Adaptado de Brito y Evers, 2016; Baptista-Carrillo, 2012, citado por Tafernaberri, 2018). Este trabajo tomo como base y adapta parte de la metodología ANP para llevar a cabo el cálculo del índice del desempeño ambiental. En 1996, fue desarrollado por el propio Saaty el método ANP, el cual provee una herramienta para lidiar con las decisiones sin asumir la independencia de los elementos de un nivel superior a los elementos inferior y sobre la independencia de los elementos dentro de un nivel en una jerarquía. El ANP hace una extensión del método AHP para los problemas con dependencias y retroalimentación entre los criterios usando el enfoque de la “súper-matriz” (Saaty, 1996). En primer lugar, el ANP está compuesto por dos partes: 1) control de la jerarquía o la red de objetivos y criterios que controlan las interacciones del sistema bajo estudio y 2) muchas subredes de influencias entre todos los elementos y grupos del problema, uno por cada criterio de control. (Saaty & Saaty, 2003). Lo anterior, hace referencia al principal problema que se presenta al utilizar la metodología ANP para los dos casos de estudios, dado el número de observaciones (2 minas) y el supuesto de independencia entre programas, hace poco plausible modelar el problema como una red. Siendo así se adapta la metodología ANP que presenta una serie de inconvenientes para el desarrollo de este trabajo; en particular la comparación pareada entre indicadores del mismo criterio para ponderar cuanto aportan a la gestión ambiental total. Sin embargo, para resolver el problema de la dependencia

y poder calcular los diferentes pesos; se apoyó la investigación en el uso de metodologías mixtas. Inicialmente, se utilizó la ponderación de la información normalizada aplicando el método de establecimiento de pesos equiproporcionales para resolver el problema de los pesos de los 3 criterios ambientales. Este método facilitó el cálculo, y funciona bien cuando todas las dimensiones del tema bajo análisis son igualmente prioritarias y están equilibradas, es decir, son representadas con una cantidad similar de sub-indicadores. (CEPAL, 2009, p. 62). Seguidamente, se continuó con la aplicación de la metodología ANP y se tomó el concepto de dominancia según Saaty (2001), que significa mayor influencia con respecto a una cierta propiedad. Este concepto generalmente se usa para comparar alternativas; pero en el desarrollo de este trabajo permitió calcular los pesos de cada indicador, lo que resulta siendo una limitante de la propuesta de la metodología ANP, ya que se usó parcialmente para realizar las relaciones de dependencia entre diferentes indicadores. Sin embargo, se tomó como elemento de partida las comparaciones pareadas entre los indicadores ambientales. La importancia se define en términos de valor que toma el indicador, al comparar entre dos indicadores, aquel que es mayor se considera que aporta más al desempeño de la gestión ambiental. La escala utilizada como criterio de importancia se muestra en la tabla 2.

**Tabla 2.** *Escala fundamental de comparaciones pareadas*

<b>Escala numérica</b>	<b>Escala verbal</b>	<b>Explicación</b>
0	No hay dominancia	Al compararse dos indicadores iguales
1	Dominancia baja	El indicador es menos importante cuando su valor es menor
2	Igual dominancia	El indicador al compararse con otro indicador tiene igual valor
3	Dominación alta	El indicador es más importante cuando su valor es mayor

Elaboración propia

Posterior a la ponderación se construye la “súper-matriz” que se define como los autovectores resultantes de las submatrices generadas de la comparación pareada de los

elementos o factores críticos (Saaty, 2003). Esto incluye los vectores de pesos de importancia relativa de los 21 indicadores ambientales. Las entradas de la supermatriz recogen los pesos de la influencia relativa de los elementos situados en las filas de la matriz sobre los elementos situados en las columnas. Luego, se calcula los valores entre indicadores mediante las matrices de comparaciones pareadas cuyas filas y columnas están formadas por todos los clústeres de la red que tienen influencia sobre dicho componente dado. (Saaty, 2003). En el presente trabajo se calculó la matriz de comparación pareada teniendo en cuenta los valores de la tabla 2. Según Medel-González et al., (2015) la normalización son los indicadores que componen los índices que están distribuidos sobre diferentes categorías por lo que es necesaria una unidad común o equivalente. Los valores de los indicadores se normalizaron dividiendo el indicador sobre la sumatoria de los indicadores de cada columna de la matriz. Luego, se calculó el vector promedio sobre las columnas de cada indicador; estos equivalen a los pesos. Por último, se llevó a cabo una multiplicación de matrices entre el vector promedio por los resultados de las comparaciones pareadas teniendo en cuenta la tabla 2. Esto permitió definir la consistencia de las matrices. Posteriormente, se procedió a ponderar la matriz de la supermatriz no ponderada, mediante los pesos correspondientes de los componentes, para transformarla en la supermatriz ponderada. También, se normaliza la supermatriz ponderada, dividiendo cada valor por la suma total de la columna. De esta forma, se obtiene una matriz estocástica por columnas, es decir, cuyas columnas sumen la unidad (supermatriz ponderada estocástica). Por último, se elevan la supermatriz ponderada estocástica hasta que sus entradas converjan y permanezcan estables; es decir todos los valores de las columnas y filas son iguales. (Saaty, 2003). La supermatriz obtenida se denomina límite y todas sus columnas son iguales, consecuencia de partir de una matriz estocástica, y sus valores indican la prioridad global de todos los elementos presentes



en la red. Si se desea conocer la prioridad global del problema de desempeño ambiental basta con ordenarlas de mayor a menor interés, y fijarse en las entradas de una columna cualquiera de la supermatriz límite correspondientes a las filas asociadas a los indicadores. Estos valores no sumarán uno, pero se pueden normalizar. (Saaty, 2003). Finalmente, el cálculo de los pesos de los 21 indicadores ambientales se obtuvo a partir de la supermatriz límite. El cálculo del IGDA se hizo a través de la ecuación 7 como se detalla a continuación:

$$IGDA = \sum_{j=1}^3 \cdot \sum_{I=1}^{I=N} WP_j WI_{Ij} R_{Ij} \quad (\text{Ecuación 7})$$

IGDA corresponde al índice global del desempeño ambiental, valores que oscilan entre 0 y 1.  $WP_j$  al peso del criterio  $j$ .  $WI_{Ij}$  al peso del indicador ( $i$ ) en el criterio ( $j$ ).  $R_{Ij}$  al valor normalizado del indicador ( $i$ ) del criterio ( $j$ ). ( $N$ ) al número total de indicador ( $i$ ) del criterio ( $j$ ) y al número total de los criterios. Los rangos definidos para el IGDA se elaboraron teniendo en cuenta las 9 unidades en que se divide la escala de dominación de los niveles de evaluación. (Saaty, 2003). En este sentido, se construyó la escala como se detalla en la tabla 3, la cual permite visualizar los avances o retrocesos del desempeño ambiental evaluado en el periodo analizado.

Finalmente, se realizó un análisis de sensibilidad utilizando diferentes pesos para los tres criterios ambientales para verificar los rangos máximos y mínimos del IGDA de ambas operaciones mineras. Se tomó como base del cálculo la ecuación 7 y el método de establecimiento de pesos equiproporcionales para los pesos. Se realizaron tres escenarios posibles. El primero, cuando los pesos de los costos son mayores que las actividades ambientales y efectividad. El segundo, cuando los pesos de las actividades ambientales son mayores que los costos y efectividad. El tercero, cuando los pesos de la efectividad son mayores que los costos y las actividades ambientales.

**Tabla 3.** *Escala de evaluación del desempeño ambiental*

Saaty	Rango (Iguales)	Nivel de evaluación ambiental
8 - 9	$0,8 < IGDA \leq 1$	Excelente: El desempeño ambiental se ajusta muy bien a los propósitos y criterios ambientales definidos por los lineamientos del plan de trabajo
6 - 7	$0,6 < IGDA \leq 0,8$	Muy Bien: El desempeño ambiental se ajusta muy bien a los propósitos y criterios ambientales definidos con algunas posibilidades de mejora
4 - 5	$0,4 < IGDA \leq 0,6$	Bien: El desempeño ambiental se ajusta bien a los propósitos y criterios ambientales definidos por los lineamientos del plan de trabajo con algunas posibilidades de mejora.
2 - 3	$0,2 < IGDA \leq 0,4$	Regular: El desempeño ambiental es regular con relación al propósito y criterios definidos por los lineamientos del plan de trabajo y tiene muchas oportunidades de mejora.
1	$0 < IGDA \leq 0,2$	Malo: El desempeño ambiental es malo respecto al propósito y criterios ambientales definidos por los lineamientos del plan de trabajo y tiene grandes oportunidades de mejoras.

Elaboración propia

### 5.2.2. *Desarrollo del segundo objetivo de investigación*

De acuerdo con los resultados de los indicadores ambientales del desempeño ambiental se analizaron potenciales de mejora en la gestión. La ecuación 8 permite evidenciar los puntos débiles que más afectan el desempeño ambiental de las operaciones mineras. Los resultados que arroja la expresión matemática indican cuáles son los indicadores ambientales de cada criterio que presentan valores atípicos en el anillo radial. La utilidad de aplicar esta expresión algebraica, es que pone en evidencia el estado actual de la gestión ambiental de la organización, lo que permite direccionar los esfuerzos económicos reflejados en acciones ambientales para cada indicador ambiental. Esto ha sido usado en el año 2015 por un grupo de investigadores del sector energético cubano a través de un caso de estudio en centrales eléctricas para determinar los indicadores ambientales con mayor criticidad. (Medel, et al., 2015).

$$PM_{ij} = WP_j * WI_{ij} * (1 - R_{ij}) * 100 \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde;  $PM_{ij}$  es la máxima contribución porcentual posible del indicador  $i$  del criterio  $j$  al IGDA,  $WP_j$  es el peso relativo del indicador  $i$  en el criterio  $j$ , y  $R_{ij}$  el valor normalizado del indicador  $i$  del criterio  $j$ .

### **5.2.3. *Desarrollo del tercer objetivo de investigación***

Para el objetivo 3 se llevó a cabo una revisión de guías, documentos y códigos que permitió identificar buenas prácticas ambientales de otras operaciones para los indicadores ambientales que serán objetos de mejora. En este sentido, se proponen nuevas medidas de manejo que han sido exitosas en su implementación, y que han permitido incrementar el desempeño ambiental y reducir los costos ambientales. Se desarrolló un análisis costo-efectividad. Esto en función de los costos de implementación de las medidas de manejo ambiental más exitosas y la efectividad percibida de las medidas de manejo para la prevención de las potenciales afectaciones generadas en las canteras Lomas Del Caney y El Níspero.

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

### **6.1. OBJETIVO 1. IDENTIFICAR LAS CARACTERÍSTICAS Y FACTORES QUE EXPLICAN EL DESEMPEÑO AMBIENTAL DE DOS OPERACIONES MINERAS DE LOS CASOS DE ESTUDIOS ANALIZADOS.**

#### **6.1.1. Definición de indicadores ambientales**

En total se definieron 21 indicadores ambientales por programa, estos son, el indicador de cumplimiento del costo  $IC_i$ , que se denomina como el instrumento económico para la planeación del presupuesto anual de la organización y corresponde a la relación de los costos ambientales ejecutados respecto a los costos ambientales aprobados. El indicador de cumplimiento de las actividades ambientales  $ICAA_i$ , se define como el instrumento operativo en la planeación de la gestión ambiental de la organización y corresponde a la relación de las actividades ejecutadas con las aprobadas que están incluidas dentro del PMA. El indicador de efectividad  $IE_i$ , se define como el instrumento legal y corresponde a la medición de los parámetros legales ejecutados en relación a los parámetros legales aprobados en la licencia ambiental. En la tabla 4 se muestran los 7 programas ambientales que dentro del PMA se utilizaron para este estudio. Además, se incluye la escala de medición de los indicadores, con valores que varían de 0 hasta 1. Estos valores indican que el resultado del indicador cuando es cercano a 1, la organización implementa correctamente su sistema de gestión ambiental en el indicador estudiado, mientras cuando el indicador es cercano a 0, no se implementan con éxito los programas ambientales.

**Tabla 4.** *Escala fundamental de comparaciones pareadas*

INDICADORES AMBIENTALES	PROGRAMAS AMBIENTALES	SIGLA	VALOR
Costos $IC_i$	Programa de manejo del componente geosférico	ICIp <sub>g</sub>	Entre 0 y 1
	Programa de manejo del componente biótico	ICIp <sub>b</sub>	
	Programa de manejo del componente atmosférico	ICIp <sub>a</sub>	
	Programa de manejo del componente socioeconómico e infraestructura	ICIp <sub>se</sub>	
	Programa de manejo de componente paisajístico.	ICIp <sub>p</sub>	
	Programa de manejo del componente hídrico	ICIp <sub>h</sub>	
	Plan de gestión social	ICIp <sub>s</sub>	
Actividades Ambientales $ICAA_i$	Programa de manejo del componente geosférico	ICAAIp <sub>g</sub>	Entre 0 y 1
	Programa de manejo del componente biótico	ICAAIp <sub>b</sub>	
	Programa de manejo del componente atmosférico	ICAAIp <sub>a</sub>	
	Programa de manejo del componente socioeconómico e infraestructura	ICAAIp <sub>se</sub>	
	Programa de manejo de componente paisajístico.	ICAAIp <sub>p</sub>	
	Programa de manejo del componente hídrico	ICAAIp <sub>h</sub>	
	Plan de gestión social	ICAAIp <sub>s</sub>	
Efectividad $IE_i$	Programa de manejo del componente geosférico	IEIp <sub>g</sub>	Entre 0 y 1.
	Programa de manejo del componente biótico	IEIp <sub>b</sub>	
	Programa de manejo del componente atmosférico	IEIp <sub>a</sub>	
	Programa de manejo del componente socioeconómico e infraestructura	IEIp <sub>se</sub>	
	Programa de manejo de componente paisajístico.	IEIp <sub>p</sub>	
	Programa de manejo del componente hídrico	IEIp <sub>h</sub>	
	Plan de gestión social	IEIp <sub>s</sub>	

Elaboración propia

### 6.1.2. *Cálculo indicadores ambientales cantera Lomas del Caney*

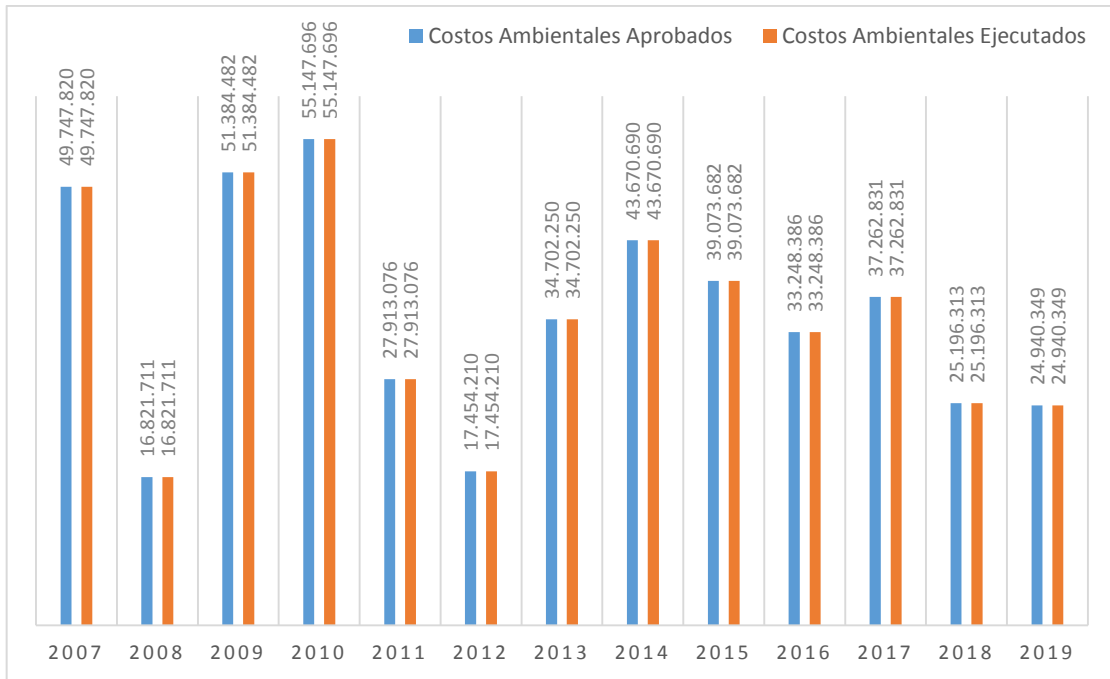
A continuación se establecieron 21 indicadores ambientales correspondientes al indicador de costo, actividades ambientales y efectividad; en lo siguiente se presentan los resultados y el análisis comparativo.

#### **Indicador del costo (IC)**

En la figura 6 se presenta la información de los costos ambientales entre los años 2007 y 2019 generados por la actividad extractiva durante la implementación del plan de manejo ambiental. En color rojo se muestra los costos ambientales aprobados por la autoridad

ambiental y en color azul los costos ambientales ejecutados durante la operación minera. En este caso, la sumatoria de los costos ambientales aprobados y ejecutados es de \$456.563.496.

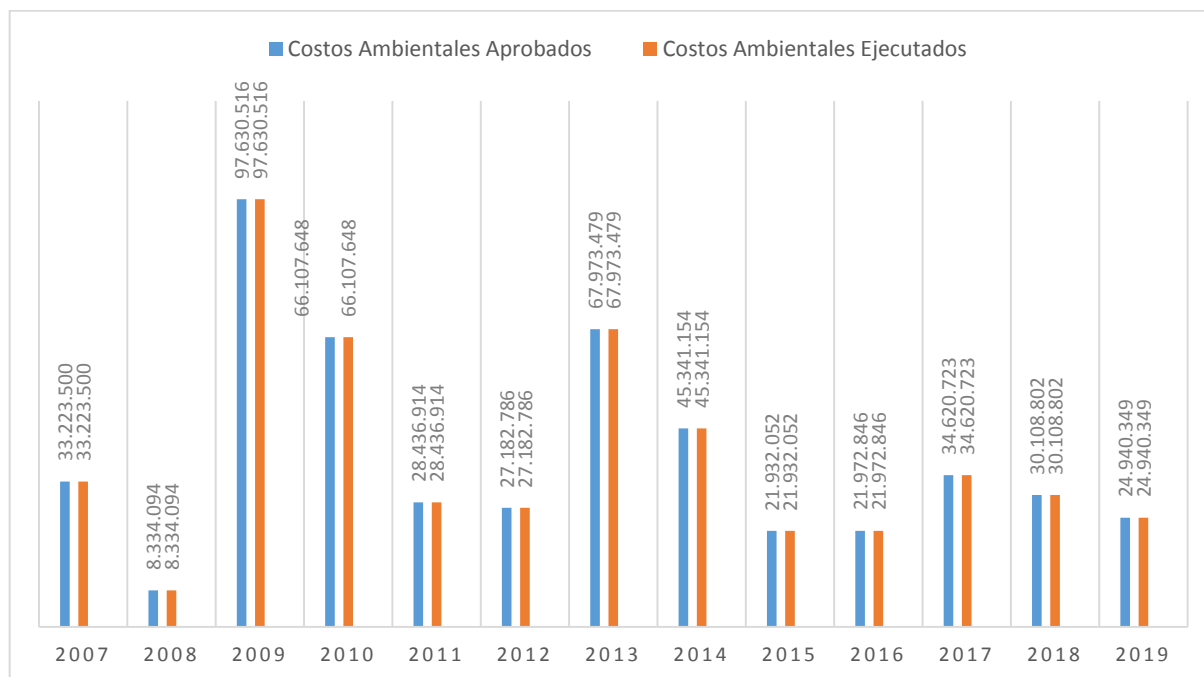
**Figura 6.** Costos ambientales aprobados y ejecutados entre el año 2007 y 2019



Elaboración propia con datos de INGEOCC

La comparación de los costos ambientales entre diferentes intervalos de tiempo se realizó tomando como coeficiente deflactor base el año 2019 teniendo en cuenta el valor del Índice de Precio del Consumidor (IPC). En la figura 7 se muestra la sumatoria de los costos ambientales aprobados y ejecutados en valores reales o a precios constantes con un valor de \$507.804.863. Esto indica que la organización dio cumplimiento al rubro ambiental aprobado en cada ficha ambiental. Lo anterior, indica que la empresa asigna dentro de su presupuesto anual el rubro requerido por concepto ambiental para realizar una buena gestión ambiental.

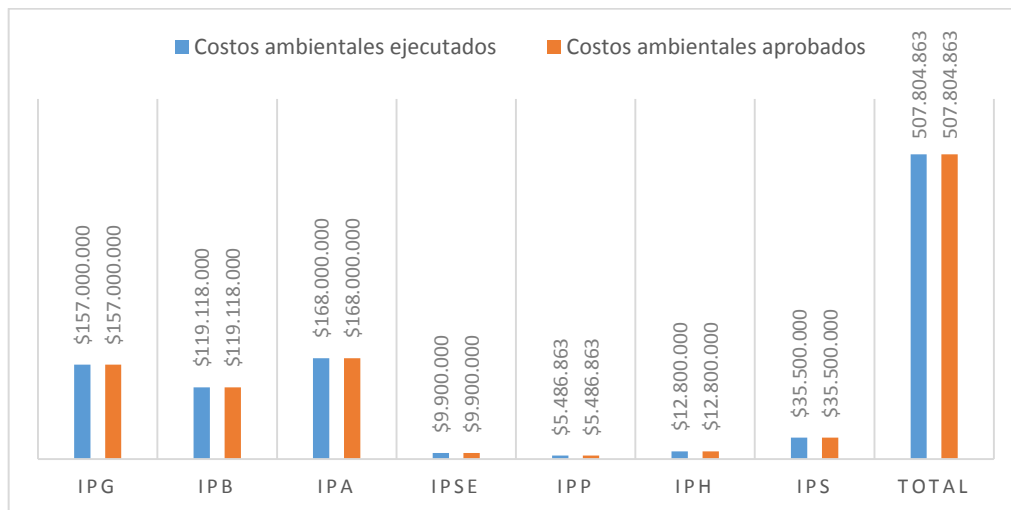
**Figura 7.** Costos ambientales deflactados tomando como base el año 2019.



Elaboración propia con datos de INGEOCC

En la figura 8 se presenta la información de los costos ambientales ejecutados y aprobados deflactados de cada programa ambiental. Además, incluye el cálculo del  $IC_i$  por programa como se definió en la ecuación 1. Se encontró que la organización ha dado cumplimiento en su totalidad al rubro ambiental aprobado en los 7 programas ambientales del PMA. Las inversiones necesarias para dar cumplimiento a los indicadores se presentan en color azul; los cuales son de \$507.804.863 y equivale al 100%. Esto no significa que la organización realice buena gestión ambiental, solamente muestra que se ha cumplido con lo establecido en cada programa. Lo anterior, permite dar cumplimiento a la licencia ambiental aprobada por la autoridad ambiental; lo cual garantiza la continuidad operativa de la operación minera.

**Figura 8.** Costos ambientales deflactados del PMA por indicador.

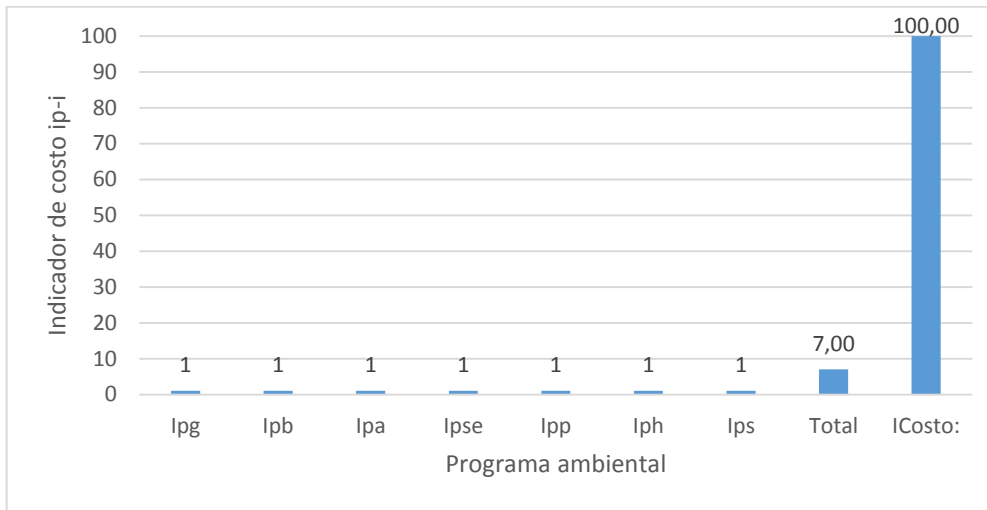


lpg: Programa geosférico, lpb: Programa biótico, lpa: Programa atmosférico, lpe: Programa socioeconómico e infraestructura, lpp: Programa paisajístico, lph: Programa hídrico, lps: Programa social. Elaboración propia con datos de INGEOCC

En la figura 9 se presenta el cálculo de los 7 indicadores ambientales como se definió en la ecuación 2. En color azul se presentan los resultados arrojados con valores de 1 cuya sumatoria fue de 7, lo que significa que el cumplimiento de la organización en el indicador del costo es del 100%. Esto muestra que la operación sigue los lineamientos del PMA en cuanto a inversión de infraestructura y gastos para el cumplimiento. Esto indica que se realizó una buena gestión ambiental desde el criterio de costos ambientales en los 7 indicadores ambientales del PMA.



**Figura 9.** *Indicador del costo para cada indicador ambiental*



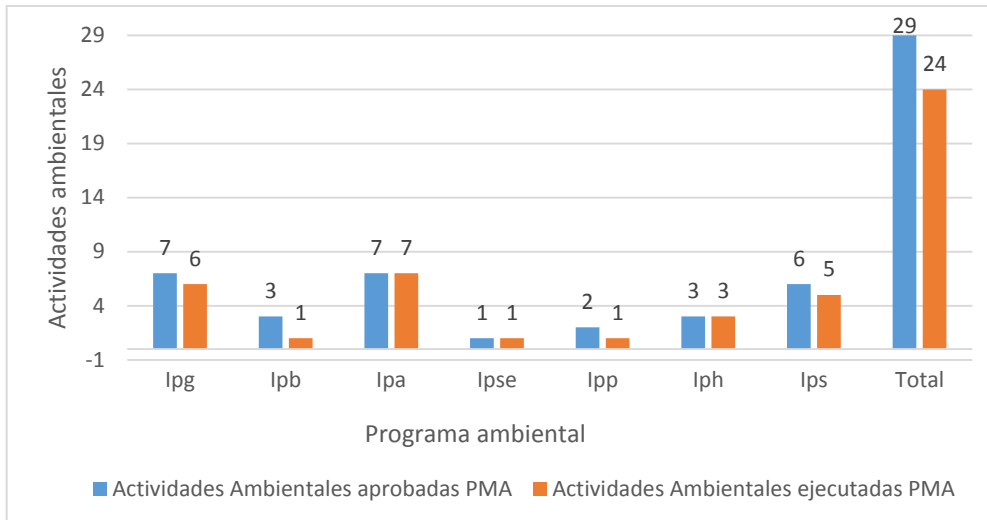
lpg: Programa geosférico, lpb: Programa biótico, lpa: Programa atmosférico  
 lpse: Programa socioeconómico e infraestructura, lpp: Programa paisajístico  
 lph: Programa hídrico, lps: Programa social. Elaboración propia con datos de INGEOCC

**Indicador de cumplimiento de actividades ambientales (ICAA)**

En la figura 10 se presenta la información de las actividades ambientales ejecutadas y aprobadas de cada programa ambiental del PMA. Además, incluye el cálculo del  $ICAA_i$  por programa como se definió en la ecuación 3. Se encontró que la organización en cuanto a las 29 actividades ambientales aprobadas solo ha ejecutado 24. Lo anterior, muestra que la gestión ambiental del departamento ambiental de la organización no realiza la totalidad de las actividades ambientales aprobadas, específicamente en: indicador geosférico, biótico, paisajístico y social. Esto implica que las actividades mineras que se vienen adelantado ocasionan impactos ambientales que no están siendo debidamente controlados. Además, no se da cumplimiento a lo exigido por la autoridad ambiental en la licencia ambiental, lo que puede acarrear un trámite sancionatorio para la organización. En la gestión ambiental de la organización los programas que presentan mayor avance son el componente atmosférico, socioeconómico e hídrico. En cambio, los que presentan rezagos son el componente geosférico, biótico, paisajístico y social. Lo anterior, debido a que la organización priorizó sus medidas de

manejo en los programas ambientales más afectados por la actividad minera y mayor criticidad frente a la autoridad ambiental y comunidades afectadas.

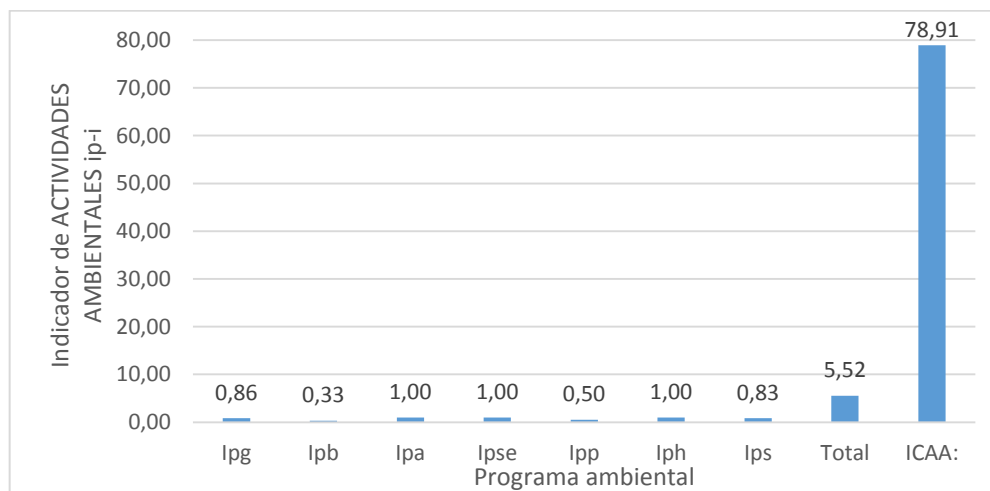
**Figura 10.** *Actividades ambientales del PMA por indicador*



lpg: Programa geoférico, lpb: Programa biótico, lpa: Programa atmosférico  
 lpse: Programa socioeconómico e infraestructura, lpp: Programa paisajístico  
 lph: Programa hídrico, lps: Programa social. Elaboración propia con datos de INGEOCC

En la figura 11 se presenta el cálculo del  $ICAA_i$  para los 7 indicadores ambientales como se definió en la ecuación 4. En color azul se presentan los resultados arrojados por indicador, en este caso se encontró que tres indicadores (atmosférico, socioeconómico e hídrico) arrojaron valores de 1, lo que significa que la organización dio cumplimiento a lo consignado en el PMA. En cambio, se encontró que cuatro indicadores (geoférico, biótico, paisajístico y social) arrojaron valores menores que 1, lo que significa que hay un incumplimiento a lo consignado en el PMA. La sumatoria de los 7 indicadores ambientales arrojó un valor de 5,52 lo que significa que el cumplimiento de este indicador es del 78,91%. Esto muestra que el departamento ambiental no ejecuta correctamente las actividades aprobadas por la autoridad ambiental. Lo anterior, evidencia que existe un 21,09% por mejorar en la gestión ambiental que vienen adelantando los grupos interdisciplinarios involucrados en los procesos ambientales de la organización.

**Figura 11. Indicador de cumplimiento de actividades ambientales por programa**

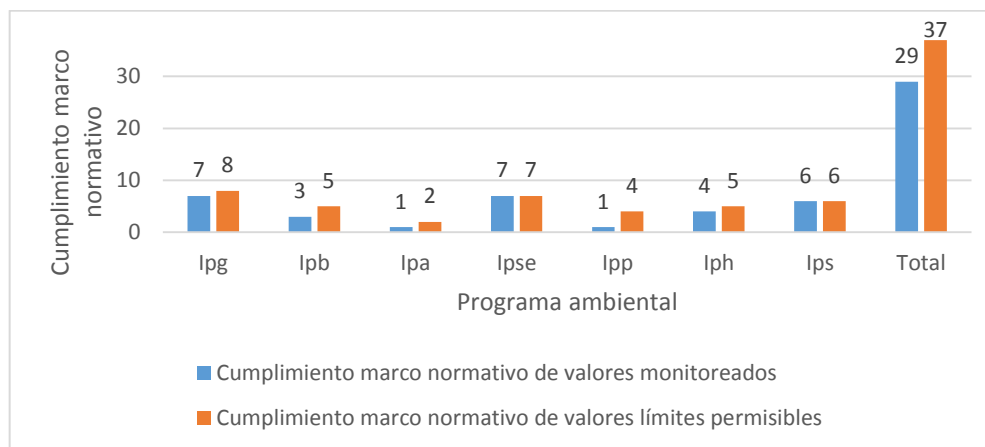


lpg: Programa geosférico, lpb: Programa biótico, lpa: Programa atmosférico  
 lpe: Programa socioeconómico e infraestructura, lpp: Programa paisajístico  
 lph: Programa hídrico, lps: Programa social. Elaboración propia con datos de INGEOCC

### **Indicador de efectividad (IE)**

En la figura 12 se presenta la información de los parámetros legales cumplidos y aprobados de cada programa ambiental según lo establecido en la licencia ambiental. Además, incluye el cálculo del *IEi* por programa como se definió en la ecuación 5. Se encontró que la organización en cuanto a los 37 parámetros legales aprobados identificados en color rojo solo ha ejecutado 29 los cuales se identifican en color azul. Lo anterior, muestra que la gestión ambiental que realiza el departamento ambiental de la organización, no alcanzó a cubrir con la totalidad de los requisitos legales aprobados, específicamente en, el indicador del programa geosférico, biótico, atmosférico, paisajístico e hídrico. Esto evidencia que la gestión ambiental que viene desarrollando la organización en sus programas ambientales no es efectiva, es decir no se están controlando los efectos negativos de las actividades mineras hacia el Ambiente.

**Figura 12. Cumplimiento de efectividad por programa**

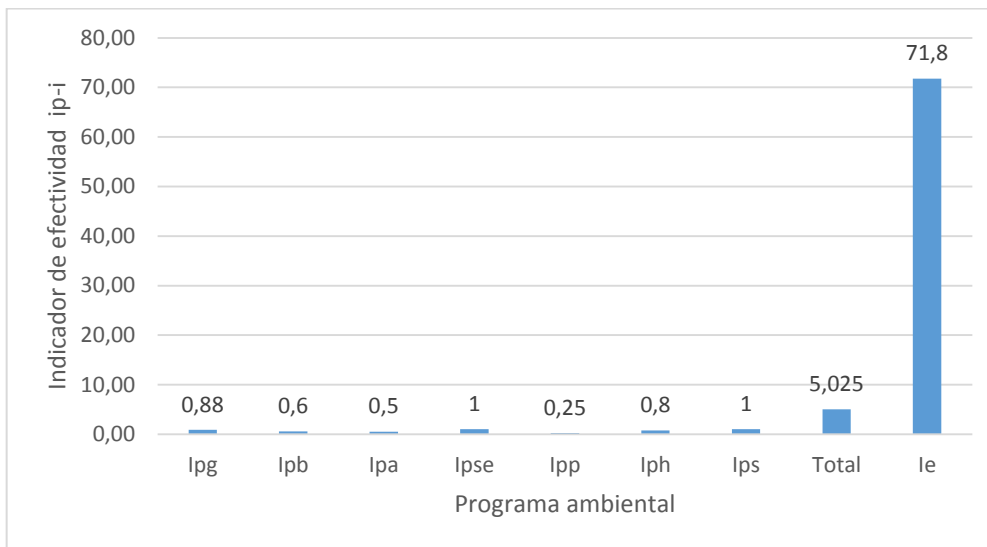


lpg: Programa geosférico, lpb: Programa biótico, lpa: Programa atmosférico  
 lpse: Programa socioeconómico e infraestructura, lpp: Programa paisajístico  
 lph: Programa hídrico, lps: Programa social. Elaboración propia con datos de INGEOCC

En la figura 13 se presenta el cálculo del *IEi* para los 7 indicadores ambientales como se definió en la ecuación 6. En color azul se presentan los resultados arrojados por indicador, en este caso se encontró que dos indicadores (socioeconómico y social) arrojaron valores de 1, lo que significa que la organización dio cumplimiento a lo consignado en el PMA. En cambio, se encontró que cinco indicadores tales como, geosférico, biótico, atmosférico, paisajístico y social arrojaron valores menores que 1, lo que significa que hubo un incumplimiento. La sumatoria de los 7 indicadores ambientales arrojó un valor de 5,025 lo que significa que el cumplimiento de este indicador es del 71,8%. Esto muestra que el departamento ambiental no alcanzo a cumplir con la totalidad de los requisitos legales aprobados en la licencia ambiental. Esto es evidencia que existe un 28,2% por mejorar en la gestión ambiental que vienen realizando los grupos interdisciplinarios involucrados en los procesos ambientales de la organización. En la gestión ambiental de la organización los programas que presentan mayor avance son el componente social y socioeconómico: En cambio, los que presentan rezagos son el componente geosférico, biótico, atmosférico, paisajístico e hídrico. Lo anterior, evidencia que en los últimos 13 años la organización priorizó sus esfuerzos económicos y actividades

ambientales para dar solamente cumplimiento ante la autoridad ambiental. Sin embargo, los indicadores para el cumplimiento de la efectividad según lo implementando en el sistema de gestión ambiental fue baja.

**Figura 13.** *Indicador de efectividad por programa*



lpg: Programa geosférico, lpb: Programa biótico, lpa: Programa atmosférico  
 lpse: Programa socioeconómico e infraestructura, lpp: Programa paisajístico  
 lph: Programa hídrico, lps: Programa social. Elaboración propia con datos de INGEOCC

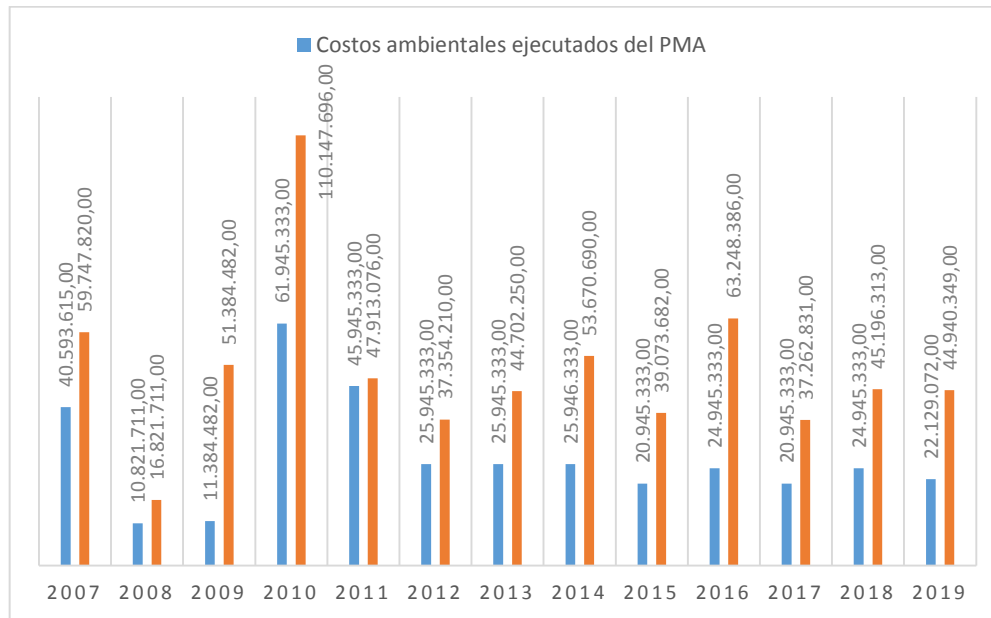
### 6.1.3. *Cálculo indicadores ambientales cantera El Níspero*

A continuación se establecieron 21 indicadores ambientales correspondientes al indicador de costo, actividades ambientales y efectividad; y en lo siguiente se presentan los resultados y el análisis comparativo.

#### **Indicador del costo (IC)**

En la figura 14 se presenta la información de los costos ambientales entre los años 2007 y 2019 generados por la actividad extractiva. En color rojo se muestra los costos ambientales del plan de manejo ambiental aprobados por la autoridad ambiental y en color azul los costos ambientales ejecutados durante la operación minera. En este caso, la sumatoria de los costos ambientales aprobados y ejecutados es de \$651.463.496 y \$362.438.877, respectivamente.

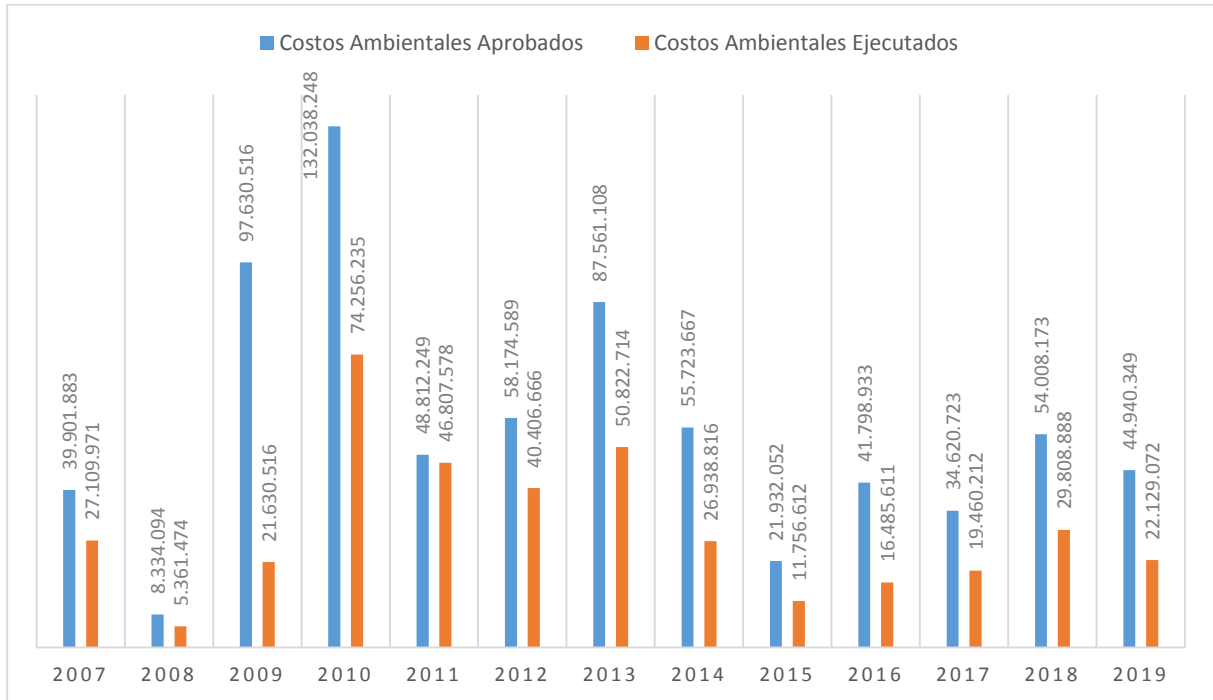
**Figura 14.** Costos ambientales aprobados y ejecutados entre el año 2007 y 2019



Elaboración propia con datos de INGECON

La comparación de los costos ambientales entre diferentes intervalos de tiempo se realizó tomando el coeficiente deflactor base el año 2019 teniendo en cuenta el Índice de Precio del Consumidor. En la figura 15 se muestra la sumatoria de los costos ambientales aprobados y ejecutados en valores reales o a precios constantes de \$725.476.585 y \$392.974.365, respectivamente. Lo cual, indica que la organización no dio cumplimiento al rubro ambiental aprobado en cada ficha ambiental. Esto implica que la empresa debe aumentar la asignación del presupuesto anual por concepto ambiental; y así permitir que los grupos interdisciplinarios puedan realizar una buena gestión ambiental.

**Figura 15.** Costos ambientales deflactados tomando como base el año 2019.

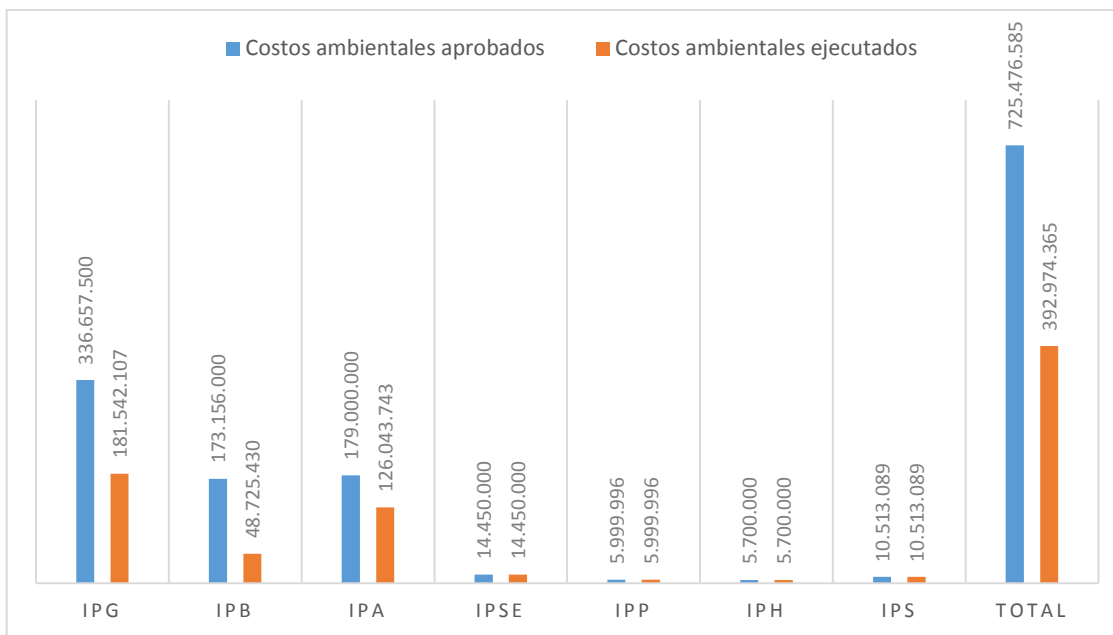


Elaboración propia con datos de INGEHOST

En la figura 16 se presenta la información de los costos ambientales ejecutados y aprobados deflactados de cada programa ambiental. Además, incluye el cálculo del  $IC_i$  por programa como se definió en la ecuación 1. La organización ha dado cumplimiento en cuatro programas ambientales del PMA, específicamente en, socioeconómico, paisajístico, hídrico y social y las inversiones necesarias para ello son de \$36.663.085. En cambio, se encontró que tres programas ambientales del PMA, específicamente en, atmosférico, biótico y geosférico no dio cumplimiento al rubro ambiental que fue aprobado en el PMA y su valor es de \$356.311.280. Esto muestra que la organización no asignó dentro del presupuesto anual lo que exigía el rubro ambiental para los procesos mineros de esta operación. Lo cual, significa que el departamento ambiental a pesar de contar con la disponibilidad de los grupos interdisciplinarios para mejorar la gestión ambiental; no cuenta con el apoyo de la gerencia ya que existen otras prioridades económicas esenciales para el sostenimiento de la operación. Por esta razón, se

dificulta dar cumplimiento a los costos aprobados por la licencia ambiental y garantizar la continuidad operativa de la organización.

**Figura 16.** Costos ambientales deflactados del PMA por indicador

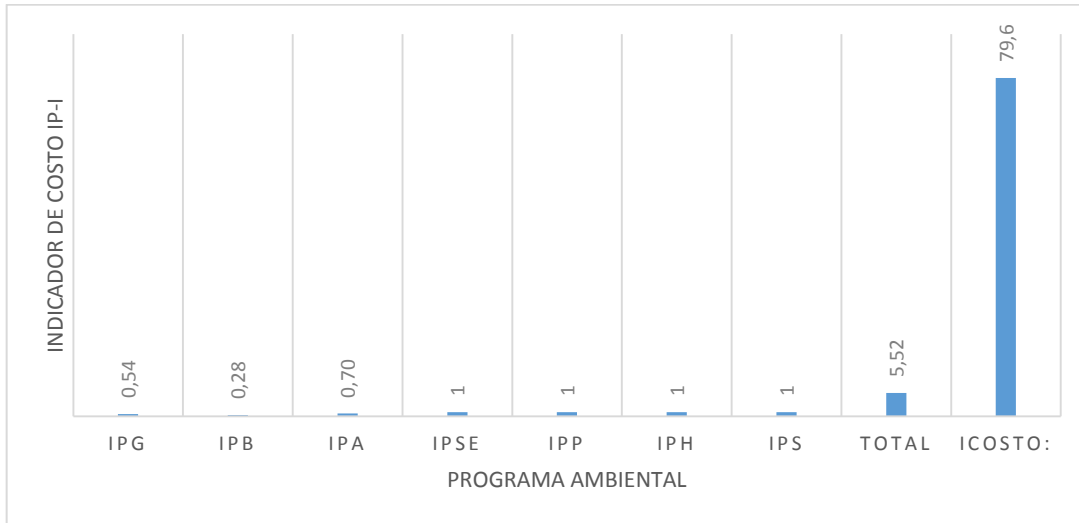


lpg: Programa geosférico, lpb: Programa biótico, lpa: Programa atmosférico  
 lpse: Programa socioeconómico e infraestructura, lpp: Programa paisajístico  
 lph: Programa hídrico, lps: Programa social. Elaboración propia con datos de INGE COST

En la figura 17 se presenta el cálculo de los 7 indicadores ambientales como se definió en la ecuación 2. En color azul se muestran los resultados arrojados con valores de 1, específicamente los programas que dieron cumplimiento son cuatro, socioeconómico, paisajístico, hídrico y social. En cambio, en color rojo se muestran los resultados arrojados con valores menores a 1, específicamente los programas que no dieron cumplimiento son tres, atmosférico, biótico y geosférico. Esto significa que la sumatoria arrojada por los 7 indicadores es de 5,57 lo que equivale al cumplimiento del indicador en un 79,6%. Esto evidencia que existe un 20,4% por mejorar en la asignación del presupuesto anual al rubro ambiental de esta operación minera.



**Figura 17. Indicador de costo para cada indicador ambiental**



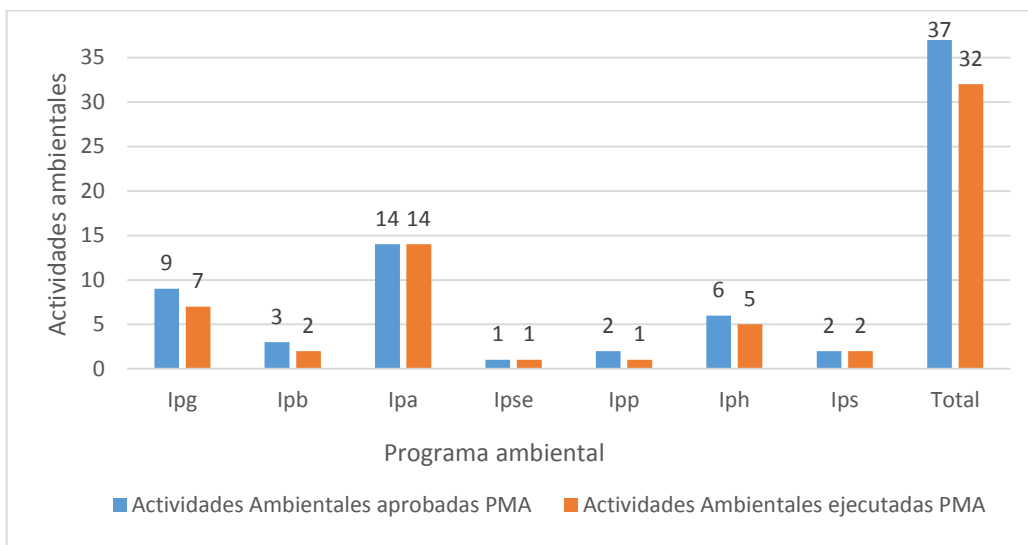
lpg: Programa geosférico, lpb: Programa biótico, lpa: Programa atmosférico  
lpe: Programa socioeconómico e infraestructura, lpp: Programa paisajístico  
lph: Programa hídrico, lps: Programa social. Elaboración propia con datos de INGE COST

### **Indicador de cumplimiento de actividades ambientales (ICAA):**

En la figura 18 se presenta la información de las actividades ambientales ejecutadas y aprobadas de cada programa ambiental del PMA. Además, incluye el cálculo del ICAA<sub>i</sub> por programa como se definió en la ecuación 3. En color azul se muestran las 37 actividades ambientales aprobadas; de las cuales se muestra en color rojo que solo se han ejecutado 32. Lo anterior, evidencia que la gestión ambiental de la organización no alcanzó a dar cumplimiento al presupuesto aprobado en el PMA por la autoridad ambiental, específicamente en, geosférico, biótico, paisajístico e hídrico. Esto implica que si el departamento ambiental no cuenta con los recursos económicos suficientes para ejecutar las actividades ambientales se continuaran generando efectos negativos sobre el Ambiente producto de los procesos mineros. Además, no se da cumplimiento a lo exigido por la autoridad ambiental en la licencia ambiental lo que puede acarrear un trámite sancionatorio para la organización. En la gestión ambiental de la organización los programas que presentan mayor avance son el componente atmosférico, socioeconómico y social: En cambio, los que presentaron rezagos son el componente

geosférico, biótico, paisajístico e hídrico. Lo anterior, se presentó debido a que la organización priorizó sus actividades de manejo ambiental en aquellos programas ambientales que más se afectan por el desarrollo de la actividad minera.

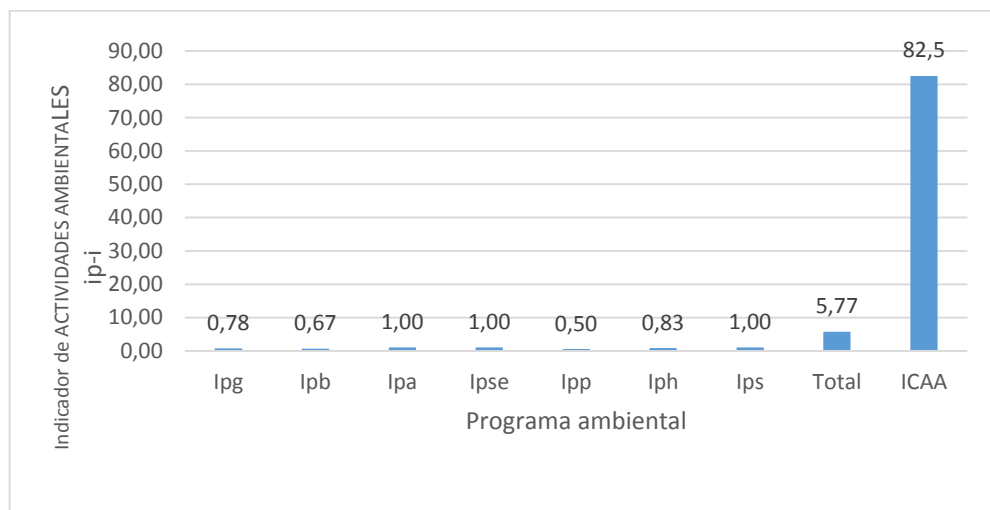
**Figura 18.** Actividades Ambientales del PMA por indicador



lpg: Programa geosférico, lpb: Programa biótico, lpa: Programa atmosférico  
 lpse: Programa socioeconómico e infraestructura, lpp: Programa paisajístico  
 lph: Programa hídrico, lps: Programa social. Elaboración propia con datos de INGE COST

En la figura 19 se presenta el cálculo del  $ICAA_i$  para los 7 indicadores ambientales como se definió en la ecuación 4. En color azul se muestran los resultados arrojados por indicador, en este caso se encontró que tres indicadores, atmosférico, socioeconómico y social arrojaron valores de 1 lo que significa que la organización dio cumplimiento a lo establecido en el PMA. En cambio, se encontró que cuatro indicadores, geosférico, biótico, paisajístico e hídrico arrojaron valores menores que 1 lo que significa que la organización incumplió. La sumatoria de los 7 indicadores ambientales arrojó un valor de 5,77 lo que significa que el cumplimiento de este indicador es del 82,5%. Esto evidencia que existe un 17,5% por mejorar en la gestión de la asignación del presupuesto anual al rubro ambiental para así poder llevar a cabo las diferentes actividades de manejo ambiental.

**Figura 19. Indicador de actividades ambientales del PMA por indicador**



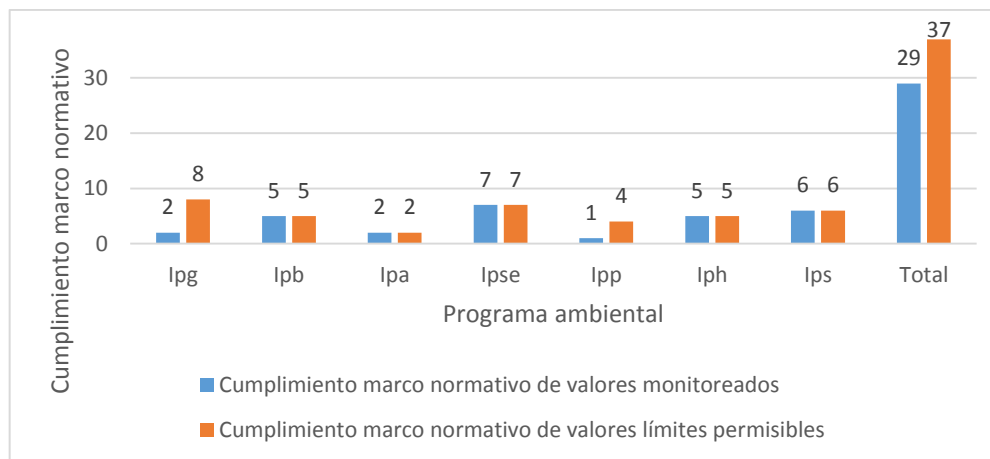
lpg: Programa geosférico, lpb: Programa biótico, lpa: Programa atmosférico  
 lpse: Programa socioeconómico e infraestructura, lpp: Programa paisajístico  
 lph: Programa hídrico, lps: Programa social. Elaboración propia con datos de INGE COST

### Indicador de efectividad (IE)

En la figura 20 se presenta la información de los parámetros legales cumplidos y aprobados de cada programa ambiental según lo establecido en la licencia ambiental. Además, incluye el cálculo del *IEi* por programa como se definió en la ecuación 5. Se encontró que la organización en cuanto a los 37 parámetros legales aprobados identificados de color rojo; solo ha ejecutado 29 los cuales se identifican de color azul. Lo anterior, muestra que la gestión ambiental que realiza el departamento ambiental de la organización, no alcanzó a cubrir con la totalidad de los requisitos legales aprobados, específicamente en, el indicador del programa geosférico y paisajístico. Esto implica que la gestión ambiental que viene desarrollando la organización en sus programas ambientales no es efectiva, es decir no se están controlando los efectos negativos de las actividades mineras hacia el Ambiente. En la gestión ambiental de la organización los programas que presentan mayor avance son el componente biótico, atmosférico, socioeconómico, hídrico y social. En cambio, los que presentan rezagos son el

componente geosférico y paisajístico. Lo anterior, evidencia que no es necesario ejecutar todas las actividades y costos ambientales para lograr ser efectivos en el sistema de gestión ambiental.

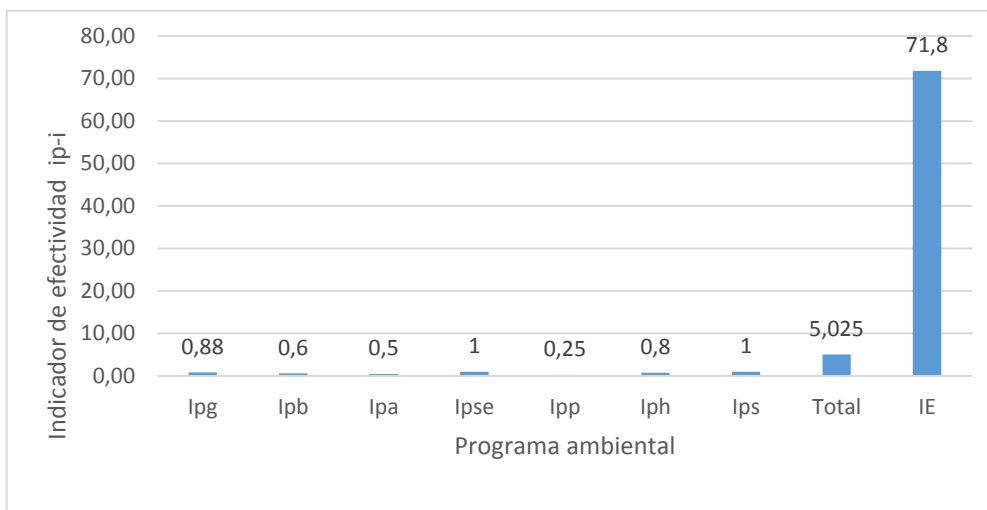
**Figura 20.** *Cumplimiento efectividad por programa*



lpg: Programa geosférico, lpb: Programa biótico, lpa: Programa atmosférico  
 lpse: Programa socioeconómico e infraestructura, lpp: Programa paisajístico  
 lph: Programa hídrico, lps: Programa social. Elaboración propia con datos de INGECOST

En la figura 21 se presenta el cálculo del *IEi* para los 7 indicadores ambientales como se definió en la ecuación 6. En color azul se muestran los resultados arrojados por indicador, en este caso se encontró que dos indicadores, el socioeconómico y social arrojaron valores de 1 lo que significa que la organización dio cumplimiento a lo consignado en el PMA. En cambio, se encontró que cinco indicadores, geosférico, biótico, atmosférico, paisajístico y social arrojaron valores menores que 1 lo que significa que se incumplió. La sumatoria de los 7 indicadores ambientales arrojó un valor de 5,025 lo que significa que el cumplimiento de este indicador es del 71,8%. Lo anterior, evidencia que existe un 28,2% por mejorar en la gestión ambiental de esta operación minera.

**Figura 21. Indicador de efectividad por programa**



lpg: Programa geosférico, lpb: Programa biótico, lpa: Programa atmosférico  
 lpse: Programa socioeconómico e infraestructura, lpp: Programa paisajístico  
 lph: Programa hídrico, lps: Programa social. Elaboración propia con datos de INGECOST

**6.1.4. Cálculo del desempeño ambiental**

Se presenta el cálculo del índice global del desempeño ambiental para los 21 indicadores ambientales de ambas operaciones mineras. A continuación se detalla el procedimiento utilizado: En primer lugar, se definen los pesos equiproporcionales de los 3 criterios (j) como se muestra en la tabla 5. Esto significa que los pesos son iguales y tienen la misma importancia. La utilidad de los pesos es que permiten identificar las falencias de la gestión ambiental en los aspectos ambientales que se impactan por las actividades extractivas.

**Tabla 5. Pesos  $WP_j$  de cada una de los criterios (j)**

Criterios (j)	Pesos ( $WP_j$ )
Costos (C)	0,33333
Actividades ambientales (AA)	0,33333
Efectividad (E)	0,33333

Elaboración propia

En tercer lugar, según el concepto de importancia se calificaron los 21 indicadores ambientales entre sí, comparando los valores de entrada en las matrices de comparaciones pareadas. Los resultados de los indicadores se compararon determinando su importancia en

términos de su valor y asignándole el peso de acuerdo a la tabla 2. Se construyó la tabla 6, 7, 8, 15, 16 y 17 la cuales presentan los resultados de las comparaciones pareadas incluidos en la matriz de dominancia interfactorial. En cuarto lugar, se conformó una matriz (21×21) que arrojó los pesos o vectores promedio para cada indicador ambiental.

### **Cantera Lomas del Caney**

Se realizaron 49 comparaciones pareadas entre indicadores ambientales utilizando el procedimiento del concepto de dominancia de la tabla 2. Hay indicadores ambientales que pesan más que otros, porque son los dominantes o los críticos; es decir son los que se deben priorizar por la organización al momento de planificar la gestión ambiental. Estos indicadores dan indicios sobre los impactos ambientales más significativos que se generan producto de las actividades extractivas. Estos deben monitorearse continuamente por la organización y los esfuerzos económicos y de recursos humanos deben estar direccionados a los pesos más altos. En cambio, los indicadores que pesan menos que otros, son los que representan menor importancia para la gestión ambiental. Estos indicadores indican que los impactos ambientales son mínimos para la organización, es decir se encuentran controlados. Los resultados arrojados en las tablas 6, 7, y 8 el programa del componente atmosférico es el que mayor peso representa en el indicador de costo y actividades ambientales. Sin embargo, este programa en el indicador de efectividad representa el menor peso, lo que indica su mayor criticidad. Esto significa que la operación minera impacta el componente atmosférico, a pesar de que se asigna la totalidad del rubro ambiental a este programa y se ejecutan las actividades ambientales; lo cual evidencia que la efectividad es baja. Lo anterior, significa que no solo basta con ejecutar lo establecido en el PMA para dar cumplimiento a lo exigido por la autoridad ambiental; sino que las

organizaciones a través de sus grupos interdisciplinarios deben tomar las mejores decisiones ambientales para lograr la sostenibilidad de las explotaciones mineras.

**Tabla 6.** *Matriz de dominancia interfactorial del indicador del costo*

Indicador del costo	CIpg	CIpb	CIpa	CIpse	CIpp	CIph	CIps	Valor final
CIpg	0	3	1	1	1	1	1	8
CIpb	1	0	1	3	3	3	3	14
CIpa	3	3	0	3	3	3	3	18
CIpse	1	1	1	0	3	1	1	8
CIpp	1	1	1	1	0	1	1	6
CIph	1	1	1	3	3	0	1	10
CIps	1	1	1	3	3	3	0	12

CIpg: Indicador del costo geosférico CIpb: Indicador del costo biótico  
 CIpa: Indicador del costo atmosférico CIpse: Indicador del costo socioeconómico e infraestructura  
 CIpp: Indicador del costo paisajístico CIph: Indicador del costo hídrico  
 CIps: Indicador del costo social. Elaboración propia

**Tabla 7.** *Matriz de dominancia interfactorial del indicador actividades ambientales*

Indicador actividades ambientales	AA Ipg	AA Ipb	AA Ipa	AA Ipse	AA Ipp	AA Iph	AA Ips	Valor Final
AAIpg	0	3	2	3	3	3	3	17
AAIpb	1	0	1	3	3	2	1	11
AAIpa	2	3	0	3	3	3	3	17
AAIpse	1	1	1	0	1	1	1	6
AAIpp	1	1	1	3	0	1	1	8
AAIph	1	2	1	3	3	0	1	11
AAIps	1	3	1	3	3	3	0	14

AAIpg: Indicador de actividades ambientales geosférico AAIpb: Indicador de actividades ambientales biótico AAIpa: Indicador de actividades ambientales atmosférico  
 AAIpse: Indicador de actividades ambientales socioeconómico e infraestructura  
 AAIpp: Indicador de actividades ambientales paisajístico AAIph: Indicador de actividades Ambientales hídrico AAIps: Indicador de actividades ambientales social. Elaboración propia

**Tabla 8.** *Matriz de dominancia interfactorial del indicador efectividad*

Indicador efectividad	EIpg	EIpb	EIpa	EIpse	EIpp	EIph	EIps	Valor final
<b>EIpg</b>	2	3	3	3	3	3	3	20
<b>EIpb</b>	1	2	3	1	3	2	1	13
<b>EIpa</b>	1	1	2	1	1	1	1	8
<b>EIpse</b>	1	3	3	2	3	3	3	18
<b>EIpp</b>	1	1	3	1	2	1	1	10
<b>EIph</b>	1	2	3	1	3	2	1	13
<b>EIps</b>	1	3	3	1	3	3	2	16

EIpg: Indicador de efectividad geosférico EIpb: Indicador de efectividad biótico

AAIpa: Indicador efectividad atmosférico AAIpse: Indicador efectividad

socioeconómico e infraestructura AAIpp: Indicador efectividad paisajístico

AAIph: Indicador efectividad hídrico AAIps: Indicador efectividad social.

Elaboración propia

La supermatriz original y ponderada muestra los vectores de pesos de importancia relativa de los elementos. La supermatriz recoge los pesos de la influencia relativa de los elementos situados en las filas de la matriz sobre los elementos situados en las columnas. Los resultados arrojados son estocásticos, es decir todas las columnas suma 1. Esto significa que la matriz fue normalizada correctamente. El AXP se calculó a partir de la multiplicación de matrices entre los valores definidos según la importancia de los indicadores ambientales por los valores de los vectores promedios. Esto significa la consistencia del cálculo de las matrices, es decir que el valor arrojado de 6,316 es aceptable y valida los resultados obtenidos. En la tabla 9,10 y 11 se presenta la supermatriz original estocásticas para los indicadores ambientales, la cual arrojó que los vectores promedio con mayor peso son los indicadores mejores evaluados; es decir son los que producirán más peso al momento de calcular el índice global de desempeño. En el costo, el indicador del componente atmosférico es el que mayor aporte al desempeño ambiental de la organización; mientras que en las actividades ambientales y la efectividad es el indicador del componente geosférico.



La supermatriz límite indica la convergencia que existe en todas las columnas de la matriz, es decir corresponde a los resultados de la supermatriz original y ponderada. Esto valores se elevan en  $n$  potencias hasta que converjan, es decir que hayan valores iguales en filas y columnas. En la tabla 12 el programa del componente geosférico es el indicador que presento el peso más alto con un valor de 0,768; el cual corresponde a la sumatoria de los tres criterios. Los indicadores con pesos más altos son los que afectan positivamente al desempeño ambiental, pero no significa que estos indicadores sean efectivos. Mientras, que el programa del componente geosférico es el indicador que presenta el peso más bajo con un valor de 0,244 el cual corresponde a la sumatoria de los tres criterios. Los indicadores con pesos muy bajos son lo que afectan negativamente al desempeño ambiental de la organización. Es aquí, donde se deben enfocar los esfuerzos de la gestión ambiental de las operaciones mineras. La consistencia de los cálculos de las matrices se considera más aceptable para el indicador de las actividades ambientales ya que representa el menor valor de AXP con 6,316.

**Tabla 9.** Supermatriz original y ponderada estocástica del costo

Indicadores ambientales	CIpg	CIpb	CIpa	CIpse	CIpp	CIph	CIps	Matriz normalizada							Vector promedio	AXP
<b>CIpg</b>	0	3	1	1	1	1	1	0,00	0,56	0,30	0,11	0,08	0,10	0,10	<b>0,179</b>	1,259
<b>CIpb</b>	0,33	0	1	3	3	3	3	0,06	0,00	0,30	0,32	0,25	0,30	0,30	<b>0,219</b>	1,423
<b>CIpa</b>	1	1	0	3	3	3	3	0,19	0,19	0,00	0,32	0,25	0,30	0,30	<b>0,221</b>	1,541
<b>CIpse</b>	1	0,33	0,33	0	3	1	1	0,19	0,06	0,10	0,00	0,25	0,10	0,10	<b>0,114</b>	0,760
<b>CIpp</b>	1	0,33	0,33	0,33	0	1	1	0,19	0,06	0,10	0,04	0,00	0,10	0,10	<b>0,084</b>	0,547
<b>CIph</b>	1	0,33	0,33	1	1	0	1	0,19	0,06	0,10	0,11	0,08	0,00	0,10	<b>0,091</b>	0,615
<b>CIps</b>	1	0,33	0,33	1	1	1	0	0,19	0,06	0,10	0,11	0,08	0,10	0,00	<b>0,091</b>	0,615
<b>Suma</b>	<b>5,33</b>	<b>5,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>6,760</b>

CIpg: Indicador del costo geosférico CIpb: Indicador del costo biótico CIpa: Indicador del costo atmosférico CIpse: Indicador del costo socioeconómico e infraestructura CIpp: Indicador del costo paisajístico CIph: Indicador del costo hídrico CIps: Indicador del costo social. AXP: Consistencia. Elaboración propia

**Tabla 10.** Supermatriz original y ponderada estocástica de efectividad

Indicadores ambientales	EIpg	EIpb	EIpa	EIpse	EIpp	EIph	EIps	Matriz normalizada							Vector promedio	AXP
<b>EIpg</b>	0	3	3	3	3	3	3	0,00	0,49	0,30	0,50	0,25	0,27	0,30	<b>0,301</b>	2,096
<b>EIpb</b>	0,33	0	3	1	3	2	1	0,17	0,00	0,30	0,17	0,25	0,18	0,10	<b>0,166</b>	1,068
<b>EIpa</b>	0,33	0,33	0	1	1	1	1	0,17	0,05	0,00	0,17	0,08	0,09	0,10	<b>0,095</b>	0,594
<b>EIpse</b>	0,33	1,00	1	0	3	3	3	0,17	0,16	0,10	0,00	0,25	0,27	0,30	<b>0,179</b>	1,138
<b>EIpp</b>	0,33	0,33	1	0,33	0	1	1	0,17	0,05	0,10	0,06	0,00	0,09	0,10	<b>0,081</b>	0,488
<b>EIph</b>	0,33	0,50	1	0,33	1	0	1	0,17	0,08	0,10	0,06	0,08	0,00	0,10	<b>0,084</b>	0,513
<b>EIps</b>	0,33	1,00	1	0,33	1	1	0	0,17	0,16	0,10	0,06	0,08	0,09	0,00	<b>0,094</b>	0,586
<b>Suma</b>	<b>2</b>	<b>6,17</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>6,482</b>

EIpg: Indicador de efectividad geosférico EIpb: Indicador de efectividad biótico EIpa: Indicador efectividad atmosférico EIipse: Indicador efectividad socioeconómico e infraestructura EIipp: Indicador efectividad paisajístico EIiph: Indicador efectividad hídrico EIips: Indicador efectividad social. AXP: Consistencia. Elaboración propia

**Tabla 11.** Supermatriz original y supermatriz ponderada estocástica de actividades ambientales

Indicadores ambientales	AAIpg	AAIpb	AAIpa	AAIpse	AAIpp	AAIph	AAIps	Matriz normalizada								Vector promedio	AXP
AAIpg	0	3	2	3	3	3	3	0,00	0,49	0,46	0,25	0,25	0,27	0,30	<b>0,289</b>	1,925	
AAIpb	0,33	0	1,00	3	3	2	1	0,15	0,00	0,23	0,25	0,25	0,18	0,10	<b>0,167</b>	1,043	
AAIpa	0,50	1,00	0	3	3	3	3	0,23	0,16	0,00	0,25	0,25	0,27	0,30	<b>0,209</b>	1,317	
AAIpse	0,33	0,33	0,33	0	1	1	1	0,15	0,05	0,08	0,00	0,08	0,09	0,10	<b>0,080</b>	0,477	
AAIpp	0,33	0,33	0,33	1	0	1	1	0,15	0,05	0,08	0,08	0,00	0,09	0,10	<b>0,080</b>	0,477	
AAIph	0,33	0,50	0,33	1	1	0	1	0,15	0,08	0,08	0,08	0,08	0,00	0,10	<b>0,083</b>	0,502	
AAIps	0,33	1,00	0,33	1	1	1	0	0,15	0,16	0,08	0,08	0,08	0,09	0,00	<b>0,093</b>	0,575	
<b>Suma</b>	<b>2,17</b>	<b>6,17</b>	<b>4,33</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	<b>6,316</b>	

AAIpg: Indicador de actividades ambientales geosférico AAIpb: Indicador de actividades ambientales biótico AAIpa: Indicador de actividades ambientales atmosférico AAIpse: Indicador de actividades ambientales socioeconómico e infraestructura AAIpp: Indicador de actividades ambientales paisajístico AAIph: Indicador de actividades Ambientales hídrico AAIps: Indicador de actividades ambientales social.  
AXP: Consistencia. Elaboración propia

**Tabla 12.** Supermatriz límite de los indicadores ambientales

Costo	(WI <sub>ij</sub> )	Actividades ambientales	(WI <sub>ij</sub> )	Efectividad	(WI <sub>ij</sub> )
<b>CIpg</b>	0,178	<b>AAIpg</b>	0,288	<b>EIpg</b>	0,301
<b>CIpb</b>	0,219	<b>AAIpb</b>	0,166	<b>EIpb</b>	0,166
<b>CIpa</b>	0,220	<b>AAIpa</b>	0,209	<b>EIpa</b>	0,094
<b>CIpse</b>	0,114	<b>AAIpse</b>	0,079	<b>EIpse</b>	0,178
<b>CIpp</b>	0,083	<b>AAIpp</b>	0,079	<b>EIpp</b>	0,081
<b>CIph</b>	0,091	<b>AAIph</b>	0,082	<b>EIph</b>	0,083
<b>CIps</b>	0,091	<b>AAIps</b>	0,092	<b>EIps</b>	0,094
<b>Suma</b>	1	<b>Suma</b>	1	<b>Suma</b>	1

Elaboración propia

En la tabla 13 se presentan los valores R<sub>ij</sub> normalizados para cada indicador ambiental los cuales son calculados a partir de la ecuación 2, 3 y 4. Los resultados de los pesos para los indicadores son iguales; en cambio los indicadores de actividades ambientales y efectividad presentan pesos variables. Esto significa que los pesos normalizados cercanos a valores a 1 muestra el cumplimiento del PMA; mientras los pesos normalizados cercanos a valores a 0 muestran que la gestión ambiental ha sido ineficiente y debe mejorarse para ejecutar correctamente el sistema de gestión ambiental.

**Tabla 13.** Valores (R<sub>ij</sub>) de los indicadores ambientales por criterio

Programas	R <sub>ij</sub>	Programas	R <sub>ij</sub>	Programas	R <sub>ij</sub>
CIpg	1	AAIpg	0,857	EIpg	0,875
CIpb	1	AAIpb	0,333	EIpb	0,600
CIpa	1	AAIpa	1	EIpa	0,500
CIpse	1	AAIpse	1	EIpse	1
CIpp	1	AAIpp	0,500	EIpp	0,250
CIph	1	AAIph	1	EIph	0,800
CIps	1	AAIps	0,833	EIps	1

Elaboración propia

En la tabla 14 se presenta el resultado de la sumatoria por criterios ambientales de cada indicador ambiental. El valor del índice global de desempeño es de 0,85 lo cual significa que la evaluación del desempeño ambiental según la tabla 3 es excelente; es decir la gestión ambiental que ha venido implementando la organización es adecuada para promover el uso sostenible y racional de los recursos naturales.

**Tabla 14.** Cálculo del IGDA para cada criterio ( $WP_j$ ) e indicadores ( $WI_{ij}$ )

Criterios	$WP_j$	IA	$WI_{ij}$	$R_{ij}$	IGDA
Costos (C)	0,33333	<b>CIpg</b>	0,178996599	1	0,059664936
		<b>CIpb</b>	0,219132653	1	0,073043487
		<b>CIpa</b>	0,220918367	1	0,073638719
		<b>CIpse</b>	0,114285714	1	0,038094857
		<b>CIpp</b>	0,083673469	1	0,027890878
		<b>CIph</b>	0,091496599	1	0,030498561
		<b>CIps</b>	0,091496599	1	0,030498561
		<b>Sumatoria parcial</b>			
Actividades ambientales (AA)	0,33333	<b>AAIpg</b>	0,288678889	0,857142857	0,082478858
		<b>AAIpb</b>	0,166633367	0,333333333	0,018514633
		<b>AAIpa</b>	0,209379809	1	0,069792572
		<b>AAIpse</b>	0,079866653	1	0,02662191
		<b>AAIpp</b>	0,079866653	0,5	0,013310955
		<b>AAIph</b>	0,082645283	1	0,027548152
		<b>AAIps</b>	0,092929593	0,833333333	0,025813518
		<b>Sumatoria parcial</b>			
Efectividad (E)	0,33333	<b>EIpg</b>	0,301316251	0,875	0,087883028
		<b>EIpb</b>	0,166450216	0,6	0,03328971
		<b>EIpa</b>	0,094518545	0,5	0,015752933
		<b>EIpse</b>	0,178793729	1	0,059597314
		<b>EIpp</b>	0,081026481	0,25	0,006752139
		<b>EIph</b>	0,083805234	0,8	0,022347839
		<b>EIps</b>	0,094089544	1	0,031362868
		<b>Sumatoria parcial</b>			
<b>SUMATORIA</b>					<b>0,85</b>

Elaboración propia



## Cantera El Níspero

Se realizaron 49 comparaciones pareadas entre indicadores ambientales utilizando el procedimiento del concepto de dominancia de la tabla 2. Hay indicadores ambientales que pesan más que otros, porque son los dominantes o los críticos; es decir son los que se deben priorizar por la organización al momento de realizar gestión ambiental. Estos indicadores dan indicios sobre los impactos ambientales más significativos que se generan producto de las actividades extractivas. En el cual, deben monitorearse continuamente por la organización y los esfuerzos económicos y de recursos humanos deben estar direccionados a los pesos más altos. En cambio, los indicadores que pesan menos que otros, son los que representan menor importancia para la gestión ambiental. Los resultados arrojados en las tablas 15, 16, y 17 muestra que el programa del componente geosférico es el que mayor peso representa en el indicador de costo y efectividad. Con respecto a este programa en el indicador de actividades ambientales no da alcance a la totalidad de las medidas de manejo ambiental aprobadas en el PMA, es decir presentan un peso menor. Esto indica que para llevar a cabo una buena gestión ambiental necesariamente no se requiere dar cumplimiento a todas las actividades ambientales. Esto significa que el desempeño ambiental se puede continuar mejorando sin la necesidad de cumplir con todas las obligaciones ambientales enmarcadas en la licencia ambiental. Lo anterior, evidencia que no solo basta con dar cumplimiento a lo establecido en los PMA; sino que las organizaciones a través de sus grupos interdisciplinarios deben evaluar las medidas ambientales que se encuentran aprobadas. De esta manera, se pueden tomar las decisiones ambientales que permitan lograr la sostenibilidad de las explotaciones mineras aún menor costo ambiental, menos actividades de manejo y siendo más efectivos.

**Tabla 15.** *Matriz de dominancia interfactorial del indicador del costo*

Indicador costo	CIpg	CIpb	CIpa	CIpse	CIpp	CIph	CIps	Valor final
CIpg	2	3	3	3	3	3	3	20
CIpb	1	2	1	3	3	3	3	16
CIpa	1	3	2	3	3	3	3	18
CIpse	1	1	1	2	3	3	3	14
CIpp	1	1	1	1	2	3	1	10
CIph	1	1	1	1	1	2	1	8
CIps	1	1	1	1	3	3	2	12

CIpg: Indicador del costo geosférico CIpb: Indicador del costo biótico  
 CIpa: Indicador del costo atmosférico CIpse: Indicador del costo socioeconómico e infraestructura  
 CIpp: Indicador del costo paisajístico CIph: Indicador del costo hídrico  
 CIps: Indicador del costo social. Elaboración propia

**Tabla 16.** *Matriz de dominancia interfactorial del indicador actividades ambientales*

Indicadores actividades ambientales	AA Ipg	AA Ipb	AA Ipa	AA Ipse	AA Ipp	AA Iph	AA Ips	Valor final
AAIpg	2	3	1	3	3	3	3	18
AAIpb	1	2	1	3	3	1	3	14
AAIpa	3	3	2	3	3	3	3	20
AAIpse	1	1	1	2	1	1	1	8
AAIpp	1	1	1	3	2	1	2	11
AAIph	1	3	1	3	3	2	3	16
AAIps	1	1	1	3	2	1	2	11

AAIpg: Indicador de actividades ambientales geosférico AAIpb: Indicador de actividades ambientales biótico AAIpa: Indicador de actividades ambientales atmosférico,  
 AAIpse: Indicador de actividades ambientales socioeconómico e infraestructura  
 AAIpp: Indicador de actividades ambientales paisajístico AAIph: Indicador de actividades Ambientales hídrico AAIps: Indicador de actividades ambientales social. Elaboración propia

**Tabla 17.** *Matriz de dominancia interfactorial del indicador efectividad*

Indicador efectividad	EIpg	EIpb	EIpa	EIpse	EIpp	EIph	EIps	Valor final
<b>EIpg</b>	2	3	3	3	3	3	3	20
<b>EIpb</b>	1	2	3	1	3	2	1	13
<b>EIpa</b>	1	1	2	1	1	1	1	8
<b>EIpse</b>	1	3	3	2	3	3	3	18
<b>EIpp</b>	1	1	3	1	2	1	1	10
<b>EIph</b>	1	2	3	1	3	2	1	13
<b>EIps</b>	1	3	3	1	3	3	2	16

EIpg: Indicador de efectividad geosférico EIpb: Indicador de efectividad biótico

AAIpa: Indicador efectividad atmosférico AAIpse: Indicador efectividad

socioeconómico e infraestructura AAIpp: Indicador efectividad paisajístico

AAIph: Indicador efectividad hídrico AAIps: Indicador efectividad social.

Elaboración propia

La supermatriz original y ponderada muestra los vectores de pesos de importancia relativa de los elementos. La supermatriz recoge los pesos de la influencia relativa de los elementos situados en las filas de la matriz sobre los elementos situados en las columnas. Los resultados arrojados son estocásticos, es decir todas las columnas suman 1. Esto significa que la matriz fue normalizada correctamente. El AXP se calculó a partir de la multiplicación de matrices entre los valores definidos según la importancia de los indicadores ambientales por los valores de los vectores promedios. Esto significa la consistencia del cálculo de las matrices, es decir que el valor arrojado de 6,399 es aceptable y valida los resultados obtenidos. En la tabla 18, 19 y 20 se presenta la supermatriz original estocásticas para los indicadores ambientales, la cual arrojó que el vector promedio con mayor peso son los indicadores mejor evaluados; es decir son los que mejoran el valor del índice global de desempeño ambiental. En el costo, el indicador del componente geosférico es que el mayor aporte al desempeño ambiental de la organización; mientras que en las actividades ambientales es el componente atmosférico y la efectividad es el componente geosférico.



La supermatriz límite indica la convergencia que existe en todas las columnas de la matriz; es decir corresponde a los resultados de la supermatriz original y ponderada que se elevan en  $n$  potencias hasta que sus valores sean iguales. En la tabla 21 el programa del componente geosférico es el indicador que presenta el peso más alto y tiene un valor de 0,85 que corresponde a la sumatoria de los tres criterios ambientales. Los indicadores con pesos más altos son los que afectan positivamente al desempeño ambiental, pero no significa que estos indicadores sean efectivos. Mientras, que el programa del componente social es el indicador que presenta el peso más bajo y tiene un valor de 0,223 que corresponde a la sumatoria de los tres criterios. Los indicadores con pesos muy bajos son los que afectan negativamente al desempeño ambiental de la organización. Es aquí, donde se deben enfocar los esfuerzos de la gestión ambiental de las operaciones mineras. La consistencia de los cálculos de las matrices se considera más aceptable para el indicador de las actividades ambientales ya que representa el menor valor de AXP con 6,399.

**Tabla 18.** Supermatriz original y ponderada estocástica del costo

Indicadores ambientales	CIpg	CIpb	CIpa	CIpse	CIpp	CIph	CIps	Matriz normalizada							Vector promedio	AXP
<b>CIpg</b>	0	3	3	3	3	3	3	0,00	0,56	0,56	0,30	0,23	0,19	0,21	0,293	2,121
<b>CIpb</b>	0,33	0	1	3	3	3	3	0,17	0,00	0,19	0,30	0,23	0,19	0,21	0,183	1,303
<b>CIpa</b>	0,33	1	0	3	3	3	3	0,17	0,19	0,00	0,30	0,23	0,19	0,21	0,183	1,303
<b>CIpse</b>	0,33	0,33	0,33	0	3	3	3	0,17	0,06	0,06	0,00	0,23	0,19	0,21	0,131	0,849
<b>CIpp</b>	0,33	0,33	0,33	0,33	0	3	1	0,17	0,06	0,06	0,03	0,00	0,19	0,07	0,083	0,510
<b>CIph</b>	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0	1	0,17	0,06	0,06	0,03	0,03	0,00	0,07	0,060	0,357
<b>CIps</b>	0,33	0,33	0,33	0,33	1	1	0	0,17	0,06	0,06	0,03	0,08	0,06	0,00	0,066	0,407
<b>Suma</b>	2	5,33	5,33	10	5,33	16	14	1	1	1	1	1	1	1	1	<b>6,851</b>

CIpg: Indicador costo geosférico CIpb: Indicador del costo biótico CIpa: Indicador del costo atmosférico CIpse: Indicador del costo socioeconómico e infraestructura CIpp: Indicador costo paisajístico CIph: Indicador costo hídrico CIps: Indicador del costo social. AXP: Consistencia. Elaboración propia

**Tabla 19.** Supermatriz original y ponderada estocástica de efectividad

Indicadores ambientales	EIpg	EIpb	EIpa	EIpse	EIpp	EIph	EIps	Matriz normalizada							Vector promedio	AXP
<b>EIpg</b>	0	3	3	3	3	3	3	0,00	0,49	0,30	0,50	0,25	0,27	0,30	0,301	2,096
<b>EIpb</b>	0,33	0	3	1	3	2	1	0,17	0,00	0,30	0,17	0,25	0,18	0,10	0,166	1,068
<b>EIpa</b>	0,33	0,33	0	1	1	1	1	0,17	0,05	0,00	0,17	0,08	0,09	0,10	0,095	0,594
<b>EIpse</b>	0,33	1	1	0	3	3	3	0,17	0,16	0,10	0,00	0,25	0,27	0,30	0,179	1,138
<b>EIpp</b>	0,33	0,33	1	0,33	0	1	1	0,17	0,05	0,10	0,06	0,00	0,09	0,10	0,081	0,488
<b>EIph</b>	0,33	0,5	1	0,33	1	0	1	0,17	0,08	0,10	0,06	0,08	0,00	0,10	0,084	0,513
<b>EIps</b>	0,33	1	1	0,33	1	1	0	0,17	0,16	0,10	0,06	0,08	0,09	0,00	0,094	0,586
<b>Suma</b>	2	6,16	10	6	12	11	10	1	1	1	1	1	1	1	1	<b>6,482</b>

EIpg: Indicador de efectividad geosférico, EIpb: Indicador de efectividad biótico, AAIpa: Indicador efectividad atmosférico AAIpse: Indicador efectividad Socioeconómico e infraestructura. AAIpp: Indicador efectividad paisajístico, AAIph: Indicador efectividad paisajístico, AAIph: Indicador efectividad hídrico, AAIps: Indicador efectividad social. Elaboración propia.

**Tabla 20.** Supermatriz original y supermatriz ponderada estocástica de actividades ambientales

Indicadores ambientales	AAIpg	AAIpb	AAIpa	AAIpse	AAIpp	AAIph	AAIps	Matriz normalizada								Vector promedio	AXP
AAIpg	0	3	1	3	3	3	3	0,00	0,50	0,30	0,25	0,26	0,32	0,20	0,262	1,765	
AAIpb	0,33	0	1	3	3	1	3	0,13	0,00	0,30	0,25	0,26	0,11	0,20	0,178	1,102	
AAIpa	1	1	0	3	3	3	3	0,38	0,17	0,00	0,25	0,26	0,32	0,20	0,225	1,447	
AAIpse	0,33	0,33	0,33	0	1	1	1	0,13	0,06	0,10	0,00	0,09	0,11	0,07	0,077	0,480	
AAIpp	0,33	0,33	0,33	1	0	1	2	0,13	0,06	0,10	0,08	0,00	0,11	0,13	0,086	0,534	
AAIph	0,333	1	0,33	1	1	0	3	0,13	0,17	0,10	0,08	0,09	0,00	0,20	0,109	0,693	
AAIps	0,33	0,33	0,33	1	0,5	0,33	0	0,13	0,06	0,10	0,08	0,04	0,04	0,00	0,063	0,378	
<b>Suma</b>	<b>2,66</b>	<b>6</b>	<b>3,33</b>	<b>12</b>	<b>11,5</b>	<b>9,33</b>	<b>15</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>6,399</b>	

AAIpg: Indicador de actividades ambientales geosférico AAIpb: Indicador de actividades ambientales biótico AAIpa: Indicador de actividades ambientales atmosférico AAIpse: Indicador de actividades ambientales socioeconómico e infraestructura AAIpp: Indicador de actividades ambientales paisajístico AAIph: Indicador de actividades Ambientales hídrico AAIps: Indicador de actividades ambientales social.

Elaboración propia

**Tabla 21.** Supermatriz límite de los indicadores ambientales

Costo	(WIij)	Actividades ambientales	(WIij)	Efectividad	(WIij)
<b>CIpg</b>	0,293	<b>AAIpg</b>	0,261	<b>EIpg</b>	0,301
<b>CIpb</b>	0,182	<b>AAIpb</b>	0,177	<b>EIpb</b>	0,166
<b>CIpa</b>	0,182	<b>AAIpa</b>	0,224	<b>EIpa</b>	0,094
<b>CIpse</b>	0,131	<b>AAIpse</b>	0,077	<b>EIpse</b>	0,178
<b>CIpp</b>	0,083	<b>AAIpp</b>	0,086	<b>EIpp</b>	0,081
<b>CIph</b>	0,060	<b>AAIph</b>	0,108	<b>EIph</b>	0,083
<b>CIps</b>	0,066	<b>AAIps</b>	0,063	<b>EIps</b>	0,094
<b>Suma</b>	1	<b>Suma</b>	1	<b>Suma</b>	1

Elaboración propia

En la tabla 22 se presentan los valores  $R_{ij}$  normalizados para cada indicador ambiental, los cuales son calculados a partir de la ecuación 2, 3 y 4. Los resultados para los indicadores de las actividades ambientales son los que representan mayor peso, es decir son los que mejoran el valor del IGDA final. Mientras, que los indicadores de efectividad son los que representan el menor peso, es decir son los que afectan al desempeño ambiental.

**Tabla 22.** Valores ( $R_{ij}$ ) de los indicadores ambientales por criterios

Programas	$R_{ij}$	Programas	$R_{ij}$	Programas	$R_{ij}$
CIpg	0,539	AAIpg	0,778	EIpg	0,875
CIpb	0,340	AAIpb	0,667	EIpb	0,600
CIpa	0,695	AAIpa	1	EIpa	0,500
CIpse	1	AAIpse	1	EIpse	1
CIpp	1	AAIpp	0,5	EIpp	0,250
CIph	1	AAIph	0,833	EIph	0,800
CIps	1	AAIps	1	EIps	1

Elaboración propia

En la tabla 23 se presenta el resultado de la sumatoria por criterios ambientales de cada indicador ambiental. El valor del IGDA arrojado fue de 0,76. Esto significa que la evaluación del desempeño ambiental según la tabla 3 es muy bien, es decir la gestión ambiental de la organización es adecuada para promover el uso sostenible y racional de los recursos naturales.

**Tabla 23.** Cálculo del IGDA para cada criterio ( $WP_j$ ) e indicadores ( $WI_{ij}$ )

Criterios j	WPj	IA	WI <sub>ij</sub>	R <sub>ij</sub>	IGDA
Costos (C)	0,33333	<b>CIpg</b>	0,29311224	0,53856961	0,05261992
		<b>CIpb</b>	0,1829932	0,34036596	0,02076134
		<b>CIpa</b>	0,1829932	0,6950965	0,04239889
		<b>CIpse</b>	0,13120748	1	0,04373539
		<b>CIpp</b>	0,08341837	1	0,02780584
		<b>CIph</b>	0,06020408	1	0,02006783
		<b>CIps</b>	0,06607143	1	0,02202359
		Sumatoria parcial			
Actividades ambientales (AA)	0,33333	<b>AAIpg</b>	0,26175688	0,77777778	0,06786222
		<b>AAIpb</b>	0,1775732	0,66666667	0,03946032
		<b>AAIpa</b>	0,22485211	1	0,07494996
		<b>AAIpse</b>	0,07733166	1	0,02577696
		<b>AAIpp</b>	0,08633787	0,5	0,0143895
		<b>AAIph</b>	0,10885093	0,83333333	0,03023607
		<b>AAIps</b>	0,06329735	1	0,0210989
		Sumatoria parcial			
Efectividad (E)	0,33333	<b>EIpg</b>	0,30131625	0,875	0,08788303
		<b>EIpb</b>	0,16645022	0,6	0,03328971
		<b>EIpa</b>	0,09451854	0,5	0,01575293
		<b>EIpse</b>	0,17879373	1	0,05959731
		<b>EIpp</b>	0,08102648	0,25	0,00675214
		<b>EIph</b>	0,08380523	0,8	0,02234784
		<b>EIps</b>	0,09408954	1	0,03136287
		Sumatoria parcial			
<b>SUMATORIA</b>					<b>0,76</b>

Elaboración propia

### **6.1.5. Análisis de resultados**

#### **Cantera Lomas Del Caney**

Las operaciones mineras debieron incluir dentro de su presupuesto anual un rubro para la gestión ambiental de \$507.804.863 entre los años 2007 y 2019 para dar cumplimiento a lo aprobado en el PMA. Es importante resaltar que la organización al tener un indicador del costo ambiental del 100%, no significa que se haga una adecuada gestión ambiental lo cual se sustentará a continuación.

Las actividades ambientales reportadas por la organización a la autoridad ambiental arrojó que de los 15 proyectos ambientales que hay vigentes, 12 cumplieron al 100%, mientras que los otros 3 proyectos ambientales, proyecto de restitución de terrenos, proyectos en pasto en sectores de proceso de habilitación ambiental y proyecto paisajístico para la rehabilitación final de uso de predios su cumplimiento fue del 0%, por lo que el indicador de cumplimiento de actividades ambientales arrojó un valor del 78,91%. En términos de legislación ambiental existe un marco jurídico que la organización debió dar cumplimiento a las obligaciones de carácter legal, es decir a las contempladas en la licencia y permisos ambientales. Esto significa que el indicador de efectividad fue del 71,78%. La gestión ambiental que se viene implementando en la organización es pertinente a razón de que se ejecutan los costos ambientales para las diferentes actividades ambientales y en gran parte las obligaciones ambientales son efectivas. En consecuencia de ello se ve reflejado en el desempeño ambiental que arrojó un resultado excelente, es decir del 0,85.

#### **Cantera El Níspero**

Las operaciones mineras que se adelantaron para las actividades de extracción de materiales de construcción debieron incluir dentro de su presupuesto anual un rubro para la gestión ambiental empresarial un valor de \$725.476.585 entre el año 2007 y 2019 para dar cumplimiento

a lo aprobado en el PMA. Sumados todos los años el costo ambiental total gastado por la organización fue de \$392.974.365, lo que significa que la empresa no ha dado cumplimiento, pues el indicador arrojó un valor del 79,62%. Las actividades ambientales muestran un resultado que de los 16 proyectos ambientales, 10 se cumplieron al 100%, mientras que los otros 6 proyectos ambientales, proyecto restitución de terrenos, instalación de barreras perimetrales, siembra de pastos en proceso de rehabilitación ambiental, establecimiento cerca viva zona de explotación, control y prevención del ruido ambiental y paisajístico para uso final de predios su cumplimiento fue del 0%, por lo que el indicador arrojó un valor del 82,53%. En términos de legislación ambiental existe un marco jurídico en donde la organización debió dar cumplimiento a las obligaciones de carácter legal contempladas en la licencia y permisos ambientales, esto significa que el indicador de efectividad fue del 71,78%.

El programa de manejo del componente atmosférico estaba contemplado un costo ambiental de \$179.000.000 según lo aprobado en el PMA. Este valor contrastado con la información contable de la organización tuvo un costo ambiental ejecutado de \$126.043.743, por lo que no se dio cumplimiento al indicador del costo. Al comparar esta variable con la ejecución de las 14 actividades ambientales muestra su cumplimiento. Finalmente, al analizar estos 2 criterios frente al marco normativo aprobado para este programa evidencia que no se da cumplimiento a los parámetros legales aprobados de Db, PM10 y PST. En cambio, para el programa de manejo del componente hídrico estaba contemplado un costo ambiental de \$5.700.000 según lo aprobado en el PMA. Este valor contrastado con la información contable de la organización evidencia su cumplimiento en término de costos. Al comparar esta variable con la ejecución de las 6 actividades ambientales ejecutadas y el marco normativo también evidencia su cumplimiento. El programa de manejo del componente biótico estaba contemplado un costo

ambiental de \$173.156.000 según lo aprobado en el PMA. Este valor al ser comparado con la información contable de la organización tiene un costo ambiental ejecutado de \$48.725.430, lo que significa que no se dio cumplimiento. En relación con los 3 parámetros legales y sus actividades ambientales tampoco se dio cumplimiento a este programa. El programa de manejo del componente paisajístico estaba contemplado un costo ambiental de \$5.999.996 según lo aprobado en el PMA. El valor contrastado con la información contable de la organización evidencia su cumplimiento en término de costos. Al comparar esta variable con la ejecución de las 2 actividades ambientales y con el cumplimiento normativo no se da cumplimiento. El programa de manejo del componente atmosférico alcanzó su cumplimiento con menos costos ambientales ejecutados de los que se tenían establecidos en el PMA. Esto se logró a partir del cumplimiento de las actividades ambientales y de las obligaciones contempladas en el marco normativo. Lo mismo sucedió con el programa de manejo del componente hídrico. Los programas de manejo del componente biótico y paisajístico sus costos ambientales ejecutados son mayores del presupuestado y solo se logran alcanzar algunas actividades ambientales que se tienen establecidas dentro de estos programas.

La gestión ambiental que se viene implementando en la organización es adecuada a razón de que se ejecutan altos recursos económicos para las diferentes actividades ambientales. Sin embargo, estas medidas de manejo ambiental no se desarrollaron y en consecuencia de ello se ve reflejado en el desempeño ambiental que arrojó un resultado muy bien, es decir del 0,76.



### **6.1.6. Análisis de sensibilidad**

El análisis de sensibilidad pretende simular diferentes escenarios del índice global del desempeño ambiental incorporando diferentes pesos para los criterios de costos, actividades ambientales y efectividad. Los rangos de los valores en los análisis de cada criterio se encuentran dentro del rango de 0 a 1. Es importante resaltar que los pesos de los indicadores ( $WI_{ij}$ ) calculados aplicando el concepto de dominancia de la tabla 2 y de los indicadores normalizados ( $R_{ij}$ ) definidos en la fase 2 se mantuvieron constantes. La principal diferencia de los escenarios son los pesos que el investigador asigna para identificar con cual criterio el IGDA presenta una mejor tendencia a 1.

#### **Cantera Lomas Del Caney**

Los escenarios realizados para el criterio de costo arrojaron que los pesos con tendencia a valores cercanos a 1 aumentan el índice de desempeño ambiental independientemente de los valores que se asignen en los otros 2 criterios. En cambio para los escenarios del criterio de actividades ambientales y efectividad arrojó que los pesos con tendencia a valores cercanos a 1 disminuyen el desempeño ambiental. Con base a lo anterior, las operaciones mineras presentan una mejor gestión ambiental cuando se prioriza la asignación del recurso económico en el rubro ambiental para los indicadores de cada programa ambiental que contempla el plan de manejo ambiental. Es importante resaltar que no necesariamente al dar cumplimiento con los costos ambientales en los tiempos establecidos y con las actividades ambientales aprobadas la empresa hace buena gestión ambiental. Esto debido a que se presentan valores atípicos en la efectividad; es decir se presenta valores con tendencia negativa. Lo anteriormente descrito, coloca a la organización en una situación en donde el departamento ambiental debe evaluar e interpretar como se encuentra adelantado la gestión ambiental; y replantearse en realizar modificaciones en sus planes de manejo ambiental aprobados. En la tabla 24 se detallan los 25 escenarios realizados para

los 3 criterios. El mejor escenario para el desempeño ambiental fue el 1 y 2 teniendo como criterio dominador el costo con un valor del IGDA de 0,98; mientras que el peor escenario fue el 24 teniendo como criterio dominador la efectividad con un valor del IGDA de 0,78.

**Tabla 24.** *Análisis de sensibilidad cantera Lomas del Caney*

Escenarios	Criterios Costos (Wpj)	Actividades Ambientales (Wpj)	Efectividad (Wpj)	IGDA
Escenario 1	0,9	0,02	0,08	0,98
Escenario 2	1	0,05	0,05	0,98
Escenario 3	0,6	0,2	0,2	0,91
Escenario 4	0,5	0,25	0,25	0,89
Escenario 5	0,7	0,15	0,15	0,93
Escenario 6	0,5	0,4	0,1	0,89
Escenario 7	0,5	0,3	0,2	0,89
Escenario 8	0,5	0,1	0,4	0,89
Escenario 9	0,5	0,2	0,3	0,89
Escenario 10	0,15	0,7	0,15	0,82
Escenario 11	0,025	0,95	0,025	0,80
Escenario 12	0,05	0,9	0,05	0,80
Escenario 13	0,1	0,8	0,1	0,81
Escenario 14	0,2	0,6	0,2	0,83
Escenario 15	0,25	0,5	0,25	0,84
Escenario 16	0,4	0,5	0,1	0,87
Escenario 17	0,1	0,5	0,4	0,80
Escenario 18	0,1	0,1	0,8	0,80
Escenario 19	0,15	0,15	0,7	0,81
Escenario 20	0,2	0,2	0,6	0,82
Escenario 21	0,25	0,25	0,5	0,83
Escenario 22	0,4	0,1	0,5	0,86
Escenario 23	0,1	0,4	0,5	0,80
Escenario 24	0,025	0,025	0,95	0,78
Escenario 25	0,08	0,02	0,9	0,79

Elaboración propia

## Cantera El Níspero

Los escenarios realizados para el criterio de costo arrojaron que los pesos con tendencia a valores cercanos a 1 disminuyen el índice de desempeño ambiental independientemente de los valores que se asignen en los otros 2 criterios. Los escenarios del criterio de actividades ambientales arrojaron que los pesos con tendencia a valores cercanos a 1 aumentan el desempeño ambiental. En cambio para los escenarios del criterio de efectividad arrojan que los pesos muestran valores atípicos, ya que el índice desempeño aumenta o disminuye dependiendo de los valores que se asignen los otros dos criterios. Esto significa que el desempeño ambiental presentar mejor comportamiento cuando los valores de la efectividad y actividades ambientales son más altos que los costos. Con base a lo anterior, las operaciones mineras presentan una mejor gestión ambiental cuando se prioriza las actividades ambientales dentro de cada programa ambiental que contempla el plan de manejo ambiental. En la tabla 25 se detallan los 25 escenarios realizados para los 3 criterios. El mejor escenario para el desempeño ambiental fue el 11 y 12 teniendo como criterio dominador las actividades ambientales con un valor del IGDA de 0,81; mientras que el peor escenario fue el 2 teniendo como criterio dominador los costos con un valor del IGDA de 0,69.

Se encontró que la diferencia máxima y mínima en el índice global de desempeño ambiental no superó los 0,6 puntos al cambiar los diferentes pesos para cada criterio ambiental. Esto evidencia que no existen variaciones significativas en el índice calculado en la tabla 23.

**Tabla 25.** *Análisis de sensibilidad cantera El Níspero*

Escenarios	Criterios Costos (Wpj)	Actividades Ambientales (Wpj)	Efectividad (Wpj)	IGDA
Escenario 1	0,9	0,04	0,06	0,70
Escenario 2	0,95	0,025	0,025	0,69
Escenario 3	0,6	0,2	0,2	0,73
Escenario 4	0,5	0,25	0,25	0,74
Escenario 5	0,7	0,15	0,15	0,72
Escenario 6	0,5	0,4	0,1	0,75
Escenario 7	0,5	0,3	0,2	0,74
Escenario 8	0,5	0,1	0,4	0,73
Escenario 9	0,5	0,2	0,3	0,74
Escenario 10	0,15	0,7	0,15	0,79
Escenario 11	0,05	0,9	0,05	0,81
Escenario 12	0,07	0,9	0,03	0,81
Escenario 13	0,1	0,8	0,1	0,80
Escenario 14	0,2	0,6	0,2	0,83
Escenario 15	0,25	0,5	0,25	0,78
Escenario 16	0,4	0,5	0,1	0,76
Escenario 17	0,1	0,5	0,4	0,79
Escenario 18	0,1	0,1	0,8	0,77
Escenario 19	0,15	0,15	0,7	0,77
Escenario 20	0,2	0,2	0,6	0,76
Escenario 21	0,25	0,25	0,5	0,76
Escenario 22	0,4	0,1	0,5	0,74
Escenario 23	0,1	0,4	0,5	0,78
Escenario 24	0,05	0,05	0,9	0,77
Escenario 25	0,075	0,075	0,9	0,77

Elaboración propia

### 6.1.7. Comparación de casos de estudios

El análisis comparativo en cuanto a la evaluación del desempeño ambiental evidencia que ambas empresas mineras tienen un compromiso ambiental definido respecto a la protección del ambiente. Esto se refleja en una excelente y muy buena gestión ambiental para la cantera Lomas Del Caney y El Níspero, respectivamente. Sin embargo, es necesario dar cumplimiento a las medidas de manejo aprobadas y adicionalmente implementar actividades ambientales de carácter

complementarias a las aprobadas en el PMA. Lo anterior, permite un enfoque ambiental integral y de mejoramiento continuo en estas organizaciones. Como rasgos comunes del desempeño ambiental obtenido en los dos casos de estudios, se encuentra la disposición de aprobación presupuestal ambiental anual por parte de la gerencia y con ella el establecimiento de las actividades ambientales. Sin embargo, es claro que el costo ambiental aprobado del PMA para la cantera Lomas del Caney es mucho menor que a la cantera El Níspero.

Al evaluar el IGDA el desempeño ambiental fue mejor para la cantera Lomas del Caney que el de la cantera El Níspero. En consecuencia, se deben enfocar mayores esfuerzos al fortalecimiento y mejoramiento continuo de la gestión ambiental empresarial para El Níspero. Esto permite alcanzar un desempeño ambiental óptimo según el presupuesto ambiental aprobado, lo cual se refleja en la efectividad de sus obligaciones legales aprobadas y actividades ambientales implementadas. La gestión ambiental para la cantera Lomas del Caney debe enfocar sus esfuerzos económicos para dar cumplimiento a las actividades ambientales de los programas del componente geosférico, biótico y paisajístico (1. Proyecto de restitución de terrenos, 2. Proyecto de rehabilitación ambiental y 3. Proyecto mejoramiento paisajístico para rehabilitación final de uso de predio), ya que su cumplimiento fue del 0%. Mientras, que la cantera El Níspero debe mejorar el indicador ambiental de cumplimiento de actividades ambientales para los programas geosférico, biótico, paisajístico, ruido (1. Proyecto restitución de terrenos, 2. Instalación de barreras perimetrales, 3. Siembra de pastos en proceso de rehabilitación ambiental, 4. Establecimiento cerca viva zona de explotación, control y 5. prevención del ruido ambiental y 6. paisajístico para uso final de predios).

En términos de cumplimiento normativo, la cantera Lomas del Caney obtuvo un valor del 71,78% por lo que aún quedan rangos por mejorar, para ello es necesario enfocar los esfuerzos en

la implementación de actividades ambientales complementarias, fundamentalmente en el programa del componente atmosférico, ya que a pesar de haber cumplido con el costo ambiental para este programa el valor de efectividad fue bajo. La gestión ambiental de cada empresa minera debe ser vista con enfoque de sistema integrado (cumplimiento a los 7 programas ambientales aprobados en PMA), y como proceso orientado a alcanzar el aprovechamiento óptimo del recurso mineral en función de minimizar los impactos ambientales más significativos asociados a la operación minera. Lo anterior, teniendo en cuenta los criterios de costo aprobado, actividad ambiental implementada y efectividad alcanzada.

## **6.2. OBJETIVO 2: ANALIZAR QUÉ POTENCIALES DE MEJORA EXISTEN EN EL MARCO DE LOS INDICADORES AMBIENTALES EVALUADOS EN EL DESEMPEÑO AMBIENTAL**

La identificación de los potenciales de mejora de los indicadores ambientales se realizó con base a los resultados obtenidos de la evaluación del desempeño ambiental de las operaciones mineras realizadas entre el año 2007 y 2019. La cantera Lomas del Caney y El Níspero presentaron un nivel de desempeño excelente y muy bueno, respectivamente. Sin embargo, al analizar la información por programas ambientales se encontró que aquellos valores de los indicadores ambientales que están ubicados sobre la parte más lejana en el anillo son los que presentan mayor criticidad, puesto que en el conjunto de datos de la distribución radial, los anillos evidencian los valores atípicos como potencial de mejora, mientras que los valores de los indicadores cercanos a cero dentro del anillo significa que el potencial de mejora es mínimo a nivel porcentual. Con base a lo anterior, se presenta a continuación los siguientes resultados:

### **6.2.1. *Potencial de mejora de los indicadores ambientales***

Desarrollando la ecuación 8 de cada uno de los programas ambientales y de los criterios, se presentan los siguientes resultados:

#### **Cantera Lomas del Caney**

En la tabla 26 se encontró que los valores más críticos están en los criterios de actividades ambientales y de efectividad; mientras que en el criterio de costos no se identificaron valores críticos. En este caso se identificaron cinco indicadores en color rojo cuyos valores son los indicadores en peores condiciones o con mayor criticidad. Estos indicadores son los que afectan negativamente el desempeño ambiental de la organización. Estos indicadores son los que generan afectaciones al ambiente donde se han establecido las operaciones mineras.

**Tabla 26.** Cálculo de potencial de mejora para Lomas del Caney

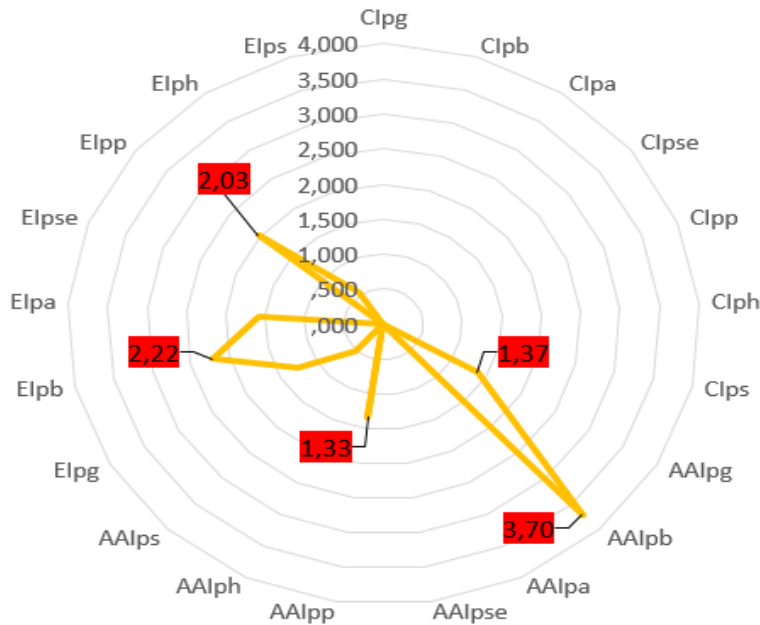
Criterio	Wpj	IA	Wijj	Rij	Potencial de mejora ij
Costos (C)	0,33333	<b>CIpg</b>	0,1789966	1	0,00
		<b>CIpb</b>	0,21913265	1	0,00
		<b>CIpa</b>	0,22091837	1	0,00
		<b>CIpse</b>	0,11428571	1	0,00
		<b>CIpp</b>	0,08367347	1	0,00
		<b>CIph</b>	0,0914966	1	0,00
		<b>CIps</b>	0,0914966	1	0,00
Actividades ambientales (AA)	0,33333	<b>AAIpg</b>	0,28867889	0,85714286	1,37
		<b>AAIpb</b>	0,16663337	0,33333333	3,70
		<b>AAIpa</b>	0,20937981	1	0,00000
		<b>AAIpse</b>	0,07986653	1	0,00000
		<b>AAIpp</b>	0,07986653	0,5	1,33
		<b>AAIph</b>	0,08264528	1	0,00000
Efectividad (E)	0,33333	<b>AAIps</b>	0,09292959	0,83333333	0,51627
		<b>EIpg</b>	0,30131625	0,875	1,25547
		<b>EIpb</b>	0,16645022	0,6	2,22
		<b>EIpa</b>	0,09451854	0,5	1,57529
		<b>EIpse</b>	0,17879373	1	0,00000
		<b>EIpp</b>	0,08102648	0,25	2,03
		<b>EIph</b>	0,08380523	0,8	0,55870
<b>EIps</b>	0,09408954	1	0,00000		

Elaboración propia

En la figura 22 se observa la tendencia de los indicadores ambientales con valores atípicos dentro de la distribución radial; los cuales serán objeto de análisis y sobre ellos se enfocaron las medidas de manejo ambiental.



**Figura 22.** Potenciales de mejora de los indicadores ambientales Lomas del Caney



Elaboración propia

### **Análisis de Resultados**

Ninguno de los indicadores ambientales evaluados en el criterio de costos presentan potencial de mejora, ya que el costo ambiental ejecutado fue el mismo costo aprobado en el PMA, es decir que dentro del rubro ambiental de la organización se asignó el 100% de los recursos económicos aprobados. En cuanto al cumplimiento de las actividades ambientales los indicadores ambientales que se deben mejorar corresponden al programa de manejo del componente biótico, paisaje y geosférico, ya que hizo falta por ejecutarse la actividad de siembra y de mantenimiento de los sectores ya explotados, el diseño paisajístico para entrega final del predio una vez se presente el cierre final minero y actividades forestales en las terrazas, respectivamente. En cuanto a la efectividad de las obligaciones ambientales se debe mejorar el programa del componente de paisaje sobre el uso final del predio. Además, el componente biótico con la implementación adecuada de todas sus actividades ambientales.

**Cantera El Níspero**

En la tabla 27 se encontró que los valores más críticos están ubicados en los 3 criterios. En este caso se identificaron 8 indicadores en color rojo cuyos valores corresponden a los indicadores en peores condiciones.

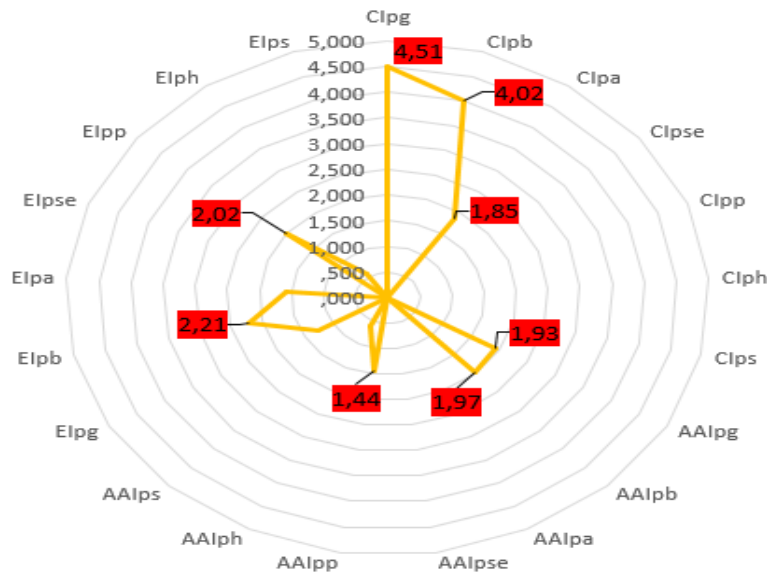
**Tabla 27.** *Cálculo de potencial de mejora para El Níspero*

<b>Criterio</b>	<b>Wpj</b>	<b>IA</b>	<b>Wijj</b>	<b>Rij</b>	<b>Potencial de mejora ij</b>
Costos (C)	0,33333	<b>CIpg</b>	0,29311224	0,53856961	<b>4,51</b>
		<b>CIpb</b>	0,1829932	0,34036596	<b>4,02</b>
		<b>CIpa</b>	0,1829932	0,6950965	<b>1,86</b>
		<b>CIpse</b>	0,13120748	1	0,00
		<b>CIpp</b>	0,08341837	1	0,00
		<b>CIph</b>	0,06020408	1	0,00
		<b>CIps</b>	0,06607143	1	0,00
		<b>AAIpg</b>	0,26175688	0,77777778	<b>1,94</b>
Actividades ambientales (AA)	0,33333	<b>AAIpb</b>	0,1775732	0,66666667	<b>1,97</b>
		<b>AAIpa</b>	0,22485211	1	0,00000
		<b>AAIpse</b>	0,07733166	1	0,00000
		<b>AAIpp</b>	0,08633787	0,5	<b>1,44</b>
		<b>AAIph</b>	0,10885093	0,83333333	0,60472
		<b>AAIps</b>	0,06329735	1	0,00000
Efectividad (E)	0,33333	<b>EIpg</b>	0,30131625	0,875	1,25547
		<b>EIpb</b>	0,16645022	0,6	<b>2,22</b>
		<b>EIpa</b>	0,09451854	0,5	1,57529
		<b>EIpse</b>	0,17879373	1	0,00000
		<b>EIpp</b>	0,08102648	0,25	<b>2,03</b>
		<b>EIph</b>	0,08380523	0,8	0,55870
		<b>EIps</b>	0,09408954	1	0,00000

Elaboración propia.

En la figura 23 se observa la tendencia de los indicadores ambientales con valores atípicos dentro de la distribución radial los cuales serán objeto de análisis y sobre ellos se enfocaron las medidas de manejo ambiental.

**Figura 23.** Potenciales de mejora de los indicadores ambientales El Nispero



Elaboración propia

### **Análisis de Resultados**

En el criterio de costos se deben mejorar los indicadores del programa de manejo del componente biótico, geosférico y atmosférico, ya que el costo ambiental ejecutado fue muy bajo en comparación del costo aprobado en el PMA. Esto significa que dentro del rubro ambiental de la organización se debe asignar un valor restante de \$289.025.619. En el criterio de actividades ambientales se debe mejorar los indicadores del programa de manejo del componente biótico, paisaje y geosférico, ya que hizo falta por ejecutarse la actividad de siembra y de mantenimiento de los sectores ya explotados, la adecuación final del uso del suelo y la instalación de cerca viva con revegetalización de pastos, respectivamente. En el criterio de efectividad se debe mejorar los indicadores del programa del componente biótico y de paisaje, en cuanto a la instalación de barrera perimetral en los límites de la explotación y ejecutar la rehabilitación paisajística de los sectores explotados, respectivamente.

### 6.3. OBJETIVO 3: GENERAR PROPUESTAS DE GESTIÓN AMBIENTAL QUE PERMITAN MEJORAR EL DESEMPEÑO AMBIENTAL EN LAS OPERACIONES ESTUDIADAS

#### 6.3.1. Guías y documentos técnicos de consulta

Teniendo en cuenta el análisis de potencial de mejora fue necesario incorporar el diseño de medidas de manejo que garanticen una adecuada gestión ambiental de los indicadores del programa de manejo atmosférico, biótico, paisajístico y geosférico. En este sentido, se identificaron algunos referentes de consulta para establecer el conjunto de medidas de gestión y manejo de buenas prácticas ambientales para cada uno de los indicadores ambientales objetos de mejora. En la tabla 28 se detallan 2 documentos, 8 guías y 1 código que son los referentes de buenas prácticas para el sector permitió extraer las mejores propuestas de gestión ambiental para ambos casos de estudios. Estas propuestas se encuentran enfocadas en los indicadores con mayor criticidad o en peores condiciones.

**Tabla 28.** Referentes de buenas prácticas para el sector minero

TÍTULO	AÑO	AUTOR	REFERENTE
Guía Minero Ambiental	2003	Ministerio de Minas y Energía - Ministerio del medio Ambiente (Colombia)	Presenta lineamientos y consideraciones técnicas ambientales para el desarrollo de proyectos mineros de explotación de carbón.
Guía Ambiental Para el Cierre y Abandono de Minas	2007	Ministerio de Minas y Energía (Perú)	Orienta la planificación y ejecución del cierre en minas o nuevas instalaciones en minas existentes.
Guía Minera Ambiental del Carbón a Cielo Abierto	2010	UPME (Colombia)	Expone criterios ambientales a ser considerados dentro de las etapas de explotación de carbón a cielo abierto.
Guía para la incorporación de la dimensión minero energética en los planes de ordenamiento departamental	2019	UPME (Colombia)	Presenta los diferentes criterios técnicos y ambientales que deben ser considerados e incluidos en la formulación de los planes de ordenamiento territorial.

Documento técnico para el cumplimiento de las guías minero ambientales como requisito previo del inicio de la etapa de exploración minera y se dictan otras disposiciones	2019	Congreso de la república de Colombia	Establecer como requisito previo al inicio de la etapa de exploración minera, la presentación de un documento técnico para el cumplimiento de las acciones para prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos ambientales establecidos en la Guía Minero Ambiental ante las Autoridades Mineras y Ambientales.
Documentos buenas prácticas ambientales y sociales en la minería.	2016	Jorge Alberto Velázquez	La minería responsable, que parte de los más altos estándares internacionales, y la aplicación de las buenas prácticas, está comprometida con el desarrollo de las comunidades y con el medio ambiente.
Guía de buenas prácticas para la minería y la biodiversidad	2004	Sally Johnson	Guía diseñada para desarrollar adecuadamente aspectos sobre la conservación de la biodiversidad en la industria minera basada en experiencias reales.
Código de buenas Prácticas ambientales en el sector de la minería	2005	Asociación profesional de la Ingeniería de Minas	Código de buenas prácticas ambientales en sector de minería donde se explica cuáles son las actividades incorrectas y correctas para la buena gestión ambiental.
Guía de buenas prácticas de extracción	NE	Programa de las Naciones Unidas Para El Desarrollo (UNDP)	Guía desarrollada para que gobiernos y asociados puedan integrar el medio ambiente y los derechos humanos en la gobernanza del sector minero.
Guía sobre medio ambiente, salud y seguridad para el sector minero	2007	Grupo del Banco Mundial, Corporación Financiera Internacional	Documento de referencia técnica que contiene ejemplos generales y específicos de la práctica internacional para la industria minera.
Guía de recursos de buenas prácticas para el cierre de minas	2019	Dirección Nacional de Producción Minera Sustentable, Ministerio de Producción y Trabajo	El objetivo de esta guía es ofrecer un mapa de los temas clave en cuanto a buenas prácticas y gestión de los recursos disponibles relacionados con la etapa de cierres mineros y su planificación.
Elaboración propia			

### 6.3.2. Medidas de buenas prácticas ambientales

Se identificaron las mejores medidas de manejo ambiental aplicables a las operaciones mineras con el fin de aumentar el índice de desempeño ambiental. Se plantearon las siguientes propuestas de gestión ambiental.

## Cantera Lomas del Caney

En la tabla 29 se detallan las propuestas de manejo ambiental de los 5 indicadores de los programas ambientales; los cuales representaron los valores más críticos de los indicadores ambientales definidos en la fase 1.

**Tabla 29.** *Propuesta de mejoramiento de gestión ambiental cantera Lomas del Caney*

PROGRAMA	PROPUESTA DE GESTIÓN AMBIENTAL
Programa componente paisaje (AAIpp)	En términos de actividad ambiental: Revegetalización en sectores de recuperación ambiental: Destinar estas zonas para uso residencial.
Programa componente geosférico (AAIpg)	En términos de actividad ambiental: Restitución de terrenos e instalación de barreras perimetrales
Programa componente biótico (AAIpb)	En término de actividades ambientales: Alianzas con entidades enfocadas a conservación ambiental que protejan las áreas de importancia en el proyecto minero
Programa componente paisajístico (EIpp)	En términos de efectividad: Revegetalización en sectores de recuperación ambiental: Destinar estas zonas para uso residencial.
Programa componente biótico (EIpb)	En términos de efectividad: Alianzas con entidades enfocadas a conservación ambiental que protejan las áreas de importancia en el proyecto minero

Elaboración propia

En la tabla 30 se observan las 3 propuestas ambientales recomendadas para su implementación con sus respectivos costos y nivel de efectividad para los indicadores ambientales que presentaron mayor criticidad. Además, se muestra los costos asociados a las nuevas medidas de manejo con su respectivo porcentaje de efectividad, la cual se refiere a alcanzar una mejor gestión ambiental para las operaciones estudiadas.

**Tabla 30.** Análisis costo-efectivo de las propuestas de gestión ambiental

PROPUESTA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	EFFECTIVIDAD
AAIpg	Restitución de terrenos e instalación de barreras perimetrales.	350	ML	\$ 10.428	\$3.650.000	100%
	Ficus y Swinglea.	12	Ha	\$2.500.000	\$30.000.000	
AAIpb EIpb	Alianzas para la conservación ambiental	10	Ha	\$ 5.000.000	\$ 60.000.000	100%
AAIpp EIpp	Revegetalización en sectores para recuperación ambiental.	12	Ha	\$ 5.000.000	\$ 60.000.000	100%

Elaboración propia

El análisis costo-efectividad de las propuestas de mejoramiento del desempeño ambiental se planteó bajo el escenario que permitió maximizar los recursos disponibles para lograr mayor impacto o efectividad. La propuesta AAIpg se concibe como una medida de manejo que se debe implementar para lograr un reacondicionamiento de los terrenos explotados, y así habilitar las áreas intervenidas. Esta propuesta beneficia al ambiente y a la comunidad aledaña al proyecto minero, ya que la instalación de barreras perimetrales a través de vegetación arbórea contribuirá a mejorar visualmente la calidad cromática del paisaje. Esta propuesta presenta un costo ambiental de \$33.650.000, lo cual es bajo al compararlo con el costo ambiental aprobado en el PMA, y con ella se alcanza el cumplimiento del programa en un 100%.

La propuesta AAIpb y EIpb tiene un costo ambiental de \$60.000.000, y se propone como medida de manejo ambiental en reemplazo a las 8 medidas de manejo existentes en el PMA, ya que el costo ambiental que se tiene aprobado es de \$116.118.000. Esta propuesta permitirá la conservación ambiental de 10 hectáreas previamente concertadas con la entidad ambiental y garantiza el cumplimiento del programa en un 100%. La propuesta AAIpp y EIpp tiene un costo ambiental de \$60.000.000 y una efectividad del 100%, mientras que el presupuesto aprobado en

el PMA de estos programas es de \$90.000.000. Por lo anterior, se considera que la propuesta de manejo es viable en términos económicos. Además, de mejorar la calidad visual del terreno mediante la siembra de pasto bachiara. Las nuevas medidas de manejo ambiental si se logran implementar sobre los cinco indicadores ambientales que presentaron mayor criticidad mejorará el desempeño ambiental. Esto significa que la gestión ambiental en términos del cumplimiento de la compensación de los impactos generados por la explotación minera generará un mayor beneficio a la sociedad. Lo anterior, debido a que se ejecutarían compensaciones ambientales agrupadas y en un área específica con el fin de asegurar la restauración sostenible de áreas fuertemente impactadas por otras actividades productivas.

### **Cantera El Níspero**

En la tabla 31 se muestran las propuestas de manejo ambiental para los 3 programas ambientales que representaron los valores más críticos de los indicadores objetos de mejora.

**Tabla 31.** *Propuesta de mejoramiento gestión ambiental en cantera El Níspero*

<b>PROGRAMA</b>	<b>PROPUESTAS DE GESTIÓN AMBIENTAL</b>
Programa componente paisajístico (Elpp)	<p>En términos de efectividad: El mejoramiento paisajístico será la de construir un parque ecológico temático propias del entorno utilizando materiales y construcciones poco contrastantes tanto para con el entorno biofísico como cultural. Se realizaran actividades de educación ambiental.</p>
Programa componente biótico. (Elpb)	<p>En términos de efectividad: La explotación minera ocasiona fuertes impactos ambientales sobre las comunidades de fauna y flora. Las formas más comunes de manejo ambiental inician con el diseño de un plan de conservación de las mismas. Se presenta a continuación una serie de medidas específicas de manejo, de los componentes fauna y flora, frente a su afectación y recuperación. En materia de manejo de la flora, deben contemplarse acciones como recuperación de la cobertura vegetal con las especies indicadas, planes de reforestación y evitar en todo caso el uso de los bosques naturales. En el caso de la fauna, las medidas están encaminadas a los planes de ahusamiento y observación de fauna que permitan asegurar el mínimo contacto con especies altamente sensibles. En término de costos: Restitución de terrenos e instalación de barreras perimetrales.</p>



Programa componente geosférico (Clpg)	La explotación minera ocasiona fuertes impactos ambientales sobre las comunidades de fauna y flora. Las formas más comunes de manejo ambiental inician con el diseño de un plan de conservación de las mismas. Se presenta a continuación una serie de medidas específicas de manejo, de los componentes fauna y flora, frente a su afectación y recuperación.
Programa componente biótico (Clpb)	En materia de manejo de la flora, deben contemplarse acciones como recuperación de la cobertura vegetal con las especies indicadas, planes de reforestación y evitar en todo caso el uso de los bosques naturales. En el caso de la fauna, las medidas están encaminadas a los planes de ahusamiento y observación de fauna que permitan asegurar el mínimo contacto con especies altamente sensibles.
Programa componente atmosférico. (Clpa)	Ejecutar un proyecto de prospección geofísica para localizar una concesión de agua subterránea aledaña a la operación minera. Esto reemplaza el costo asociado al transporte y compra de agua para el riego de las vías mineras.
Programa componente geosférico (AAIpg)	En términos de actividades ambientales: Restitución de terrenos e instalación de barreras perimetrales
Programa componente biótico (AAIpb)	En términos de actividades ambientales:  La explotación minera ocasiona fuertes impactos ambientales sobre las comunidades de fauna y flora. Las formas más comunes de manejo ambiental inician con el diseño de un plan de conservación de las mismas. Se presenta a continuación una serie de medidas específicas de manejo, de los componentes fauna y flora, frente a su afectación y recuperación. En materia de manejo de la flora, deben contemplarse acciones como recuperación de la cobertura vegetal con las especies indicadas, planes de reforestación y evitar en todo caso el uso de los bosques naturales En términos de actividades ambientales:
Programa componente paisajístico (AAIpp)	El mejoramiento paisajístico será la de construir un parque ecológico temático propias del entorno utilizando materiales y construcciones poco contrastantes tanto para con el entorno biofísico como cultural. Se realizaran actividades de educación ambiental

Elaboración propia

En la tabla 32 se realizó un análisis costo-efectivo de las 8 propuestas ambientales recomendadas para su implementación con sus respectivos costos ambientales. Además, se

muestra los costos asociados a las nuevas medidas de manejo con su respectivo porcentaje de efectividad que se refiere a alcanzar una mejor gestión ambiental para las operaciones estudiadas.

**Tabla 32.** *Análisis costo-efectivo de las propuestas de gestión ambiental*

PROPUESTAS	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	EFFECTIVIDAD
Clpg AAIpg	Restitución de terrenos e instalación de barreras perimetrales	350	ML	\$10,42	\$3.650.000	100%
		23	Ha	\$2500000	\$57.500.000	
Elpp, AAIpp	El mejoramiento paisajístico es la de construir un parque ecológico temático para desarrollo de educación ambiental.	1	N.A.	\$500.000.000	\$500.000.000	100%
Clpb, AAIPb, Elpb	Implementación de biomantos para el mejoramiento de la calidad del suelo y de la cobertura vegetal.	23	Ha	420.000.00 /Ha	\$966.000.00	100%

Elaboración propia

La propuesta Clpg y AAIpg tiene un costo ambiental más bajo que el costo aprobado en el PMA, por lo que es viable su implementación. Esto contribuirá a cerrar el pasivo ambiental de la fase de cierre minero, pues la efectividad de esta nueva medida de manejo sería del 100 %. La propuesta Elpp y AAIpp no es viable para la organización debido a que la rentabilidad anual obtenida por la comercialización de los materiales pétreos es baja a comparación de otros actores mineros. Por lo anterior, implementar estas propuestas se dificultará, ya que el costo para su implementación es de \$500.000.000., pero desde el criterio de efectividad y cumplimiento es la más adecuada para mejorar el desempeño ambiental. La propuesta Clpb, AAIPb y Elpb tiene un costo ambiental de \$966.000.000, es decir supera 9 veces al costo aprobado. Implementar esta

nueva medida es muy efectiva. Lo anterior, es viable si la alta gerencia coloca a disposición los recursos económicos dentro del rubro de la gestión ambiental.

## 7. CONCLUSIONES

1. La investigación pretende diseñar un índice de desempeño ambiental de dos operaciones mineras que permitan mejorar la toma de decisiones de las organizaciones en cuanto a la gestión ambiental. Para tal fin se utilizó el método de toma de decisión multiobjetivo y adaptando componentes de la metodología de proceso de jerarquía analítica ANP y establecimiento de pesos equiproporcionales. Esto permitió definir e integrar 21 indicadores y 3 criterios ambientales en un solo índice de desempeño ambiental.
2. La combinación de métodos y técnicas de normalización y ponderación de la información ambiental recolectada de los planes de manejo ambiental de 2 operaciones mineras permitió identificar los principales indicadores ambientales de mayor criticidad. Esto facilita a los directivos de las organizaciones a tomar correctamente las decisiones ambientales. Esto es útil porque permite a la organización priorizar las nuevas medidas de manejo ambiental.
3. La aplicación de técnicas de análisis multicriterio permitió estimar el índice global de desempeño ambiental de la cantera Lomas Del Caney y El Níspero, cuyos valores fueron de 0,85 y 0,76 respectivamente. Esto ayudó a identificar los indicadores de mayor criticidad de la gestión ambiental de estas operaciones. En el caso de la cantera Lomas del Caney se puede mejorar en las actividades ambientales del programa geosférico, biótico y paisaje; y en la efectividad en el programa biótico y paisaje. En cambio, para la cantera El Níspero en los costos del programa geosférico, biótico y atmosférico; y en las actividades ambientales en los programas geosférico, biótico y paisaje; y en la efectividad en los programas biótico y paisaje. Lo cual, permitió generar propuestas de mejoramiento ambiental, ya sean para reemplazar o adicionar nuevas medidas de manejo ambiental.

## 8. RECOMENDACIONES

- La evaluación del desempeño ambiental no solamente debe elaborarse en las organizaciones para dar cumplimiento a los requisitos legales establecidos por las autoridades ambientales; sino que debe realizarse de forma continua para monitorear la evolución del nivel de la gestión ambiental.
- Perfeccionar el uso de tecnologías informáticas en el sector minero permite una mayor transparencia para entender el comportamiento de los impactos ambientales significativos generados por las actividades mineras. Esto mejorará la gestión ambiental ya que permite almacenar y evaluar la información ambiental a tiempo real.
- Es conveniente aplicar el procedimiento metodológico desarrollado en esta investigación en otras operaciones mineras para construir un IGDA y de esta manera comparar entre ellas cómo va la gestión ambiental. Esto es útil para la autoridad ambiental, ya que podrían crear tableros de control para hacer más fácil la labor de vigilancia y control a estos proyectos. También, es importante a nivel gremial, ya que facilita identificar fortalezas y debilidades del sector y como mejorar la manera en que lo perciben las comunidades, si esto fuera de uso público.
- Las empresas mineras deben mejorar la definición y selección de los procesos internos para la implementación de su sistema de gestión ambiental, y así poder monitorear eficazmente los indicadores ambientales de los programas que comprenden los planes de manejo ambiental.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía Municipal de Yumbo, (2015). Anuario estadístico Municipal, 7, 1 – 59.  
<http://www.yumbo.gov.co/Transparencia/Estudiopublicacionesinvestigaciones/Anuario%20Estad%C3%ADstico%202016-2015.pdf>
- Arboleda, A., Loaiza, C., Molina, L., Castillo, L., Toro, M., Céspedes, M., Carmona, N., Ríos, S., Herrera, V., (2013). Guía para el gerenciamiento de proyectos y programas escolares.  
[http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/bitstream/10819/1568/1/Guia\\_Proyectos\\_escolares\\_Arboleda\\_2013.pdf](http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/bitstream/10819/1568/1/Guia_Proyectos_escolares_Arboleda_2013.pdf)
- CEPAL, (2009): Guía metodológica diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible.  
<https://www.cepal.org/es/publicaciones/3661-guia-metodologica-diseno-indicadores-compuestos-desarrollo-sostenible>
- Comoglio, C., & Botta, S. (2012). The use of indicators and the role of environmental management systems for environmental performances improvement: a survey on ISO 14001 certified companies in the automotive sector. *Journal of Cleaner Production*, 20(1), 92-102.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652611003301?via%3Dihub>
- Chiang, C. M., & Lai, C. M. (2002). A study on the comprehensive indicator of indoor environment assessment for occupants' health in Taiwan. *Building and Environment*, 37(4), 387-392. <https://researchoutput.ncku.edu.tw/en/publications/a-study-on-the-comprehensive-indicator-of-indoor-environment-asse>
- Convenio de Aarhus, (1998). Convenio sobre el acceso a la información, la participación del público en la toma de decisiones y el acceso a la justicia en materia de medio ambiente.  
[http://www.mediterranea.org/cae/aarhus\\_convenio.pdf](http://www.mediterranea.org/cae/aarhus_convenio.pdf)

- Del rosario, C., Aguilar, E., Costilla, P., Bohórquez, M., (2018). Gestion ambiental en las organizaciones: Análisis desde los costos ambientales. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/290/29058776009/html/index.html>
- Dias-Sardinha, I., & Reijnders, L. (2005). Evaluating environmental and social performance of large Portuguese companies: a balanced scorecard approach. *Business Strategy and the Environment*, 14(2), 73-91. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/bse.421>
- Elkington, J. (1997). Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business, 25 (4), 42-43. <https://search.proquest.com/docview/218750101?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true>
- Global Reporting Initiative – GRI. (2006). Sustainability reporting guidelines (Version 3.0). Ámsterdam: GRI. Recuperado el 19 de noviembre de 2010, de <https://www.globalreporting.org/resourcelibrary/G3-Guidelines-Incl-Technical-Protocol.pdf>.
- González, A., Echeverry, M., (2019). Indicadores ambientales y desempeño ambiental: Colombia en el índice de desempeño ambiental (EPI) (2006-2014), 23, 1 - 44. <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/ambienteydesarrollo/article/view/24394>
- Gunningham, N. (2009). Shaping corporate environmental performance: a review. *Environmental Policy and Governance*, 19(4), 215-231. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/eet.510>
- Henri, J.-F., & Journeault, M. (2008). Environmental performance indicators: an empirical study of Canadian manufacturing firms. *Journal of Environmental Management*, 87(1), 165-176. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479707000333?via%3Dihub>

- Hernández, C., Marins, F. A. S., Rocha, P. D., & Duran, J. A. R. (2010). Using AHP and ANP to Evaluate the relation between reverse logistics and corporate performance in Brazilian Industry. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 7(2), 47-62. <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/106428>
- Herva, M., Franco, A., Carrasco, E. F., & Roca, E. (2011). Review of corporate environmental indicators. *Journal of Cleaner Production*, 19(15), 1687-1699. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652611001892?via%3Dihub>
- Hubbard, G. (2009). Measuring organizational performance: beyond the triple bottom line. *Business Strategy and the Environment*, 18(3), 177-191. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/bse.564>
- IDEAM, (2002). Guía ambiental para exploración de Carbón. Colombia. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/002885/gestion/guias/indice.htm>
- IHOBE, (2013): Guía de indicadores medioambientales para la empresa. España. [https://alojamientos.uva.es/guia\\_docente/uploads/2013/430/52300/1/Documento.pdf](https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2013/430/52300/1/Documento.pdf)
- International Organization for Standardization – ISO. (2005). NC-ISO 14031. Gestión ambiental, evaluación del desempeño ambiental: directrices. La Habana: Oficina Nacional de Normalización. [https://informacion.unad.edu.co/images/control\\_interno/NTC\\_ISO\\_14001\\_2015.pdf](https://informacion.unad.edu.co/images/control_interno/NTC_ISO_14001_2015.pdf)
- International Organization for Standardization – ISO. (2005). ISO 9000. Sistema de gestión ambiental. [https://informacion.unad.edu.co/images/control\\_interno/NTC\\_ISO\\_14001\\_2015.pdf](https://informacion.unad.edu.co/images/control_interno/NTC_ISO_14001_2015.pdf)



- International Organization for Standardization – ISO. (2005). NTC-ISO 14001. Sistema de gestión de la calidad. <https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:9000:ed-4:v1:es>
- Isaac-Godínez, C. L., Díaz Aguirre, S., La Rosa Baez, M., Hernández Díaz, R., Hevia Lanier, F., & Gómez Báez, J. (2010), 1 - 12. Indicadores para la evaluación del desempeño ambiental de los Centros de Educación Superior. *Revista del Centro Nacional de Investigaciones Científicas*, 41, 1-12. <https://www.redalyc.org/pdf/1816/181620500040.pdf>
- Manrique, J., Robledo, J., y Lema, A. (2014). Índice de desempeño innovador en los subsectores industriales colombianos entre 1996 y 2005. <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Dialnet-IndiceDeDesempenoInnovadorEnLosSubsectoresIndustri-5189810.pdf>
- Medel, A., García, L., Hernandez, C. y Medel, M. (2015). Procedimiento para la evaluación del desempeño ambiental “aplicación sector energético cubano”. [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-530X2015000300463&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2015000300463&lng=es&tlng=es).
- Mejía, C. (1999). Publicación periódica coleccionable: Indicadores de efectividad y eficacia, 18(3), 177-191. [https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as\\_sdt=0,5&q=efectividad](https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0,5&q=efectividad)
- Ministerio del Medio Ambiente, Minercol, & Entidades coparticipantes. (2000). Guía ambiental para puertos carboníferos “Evaluación de la gestión ambiental”: <https://justiciaambientalcolombia.org/wp-content/uploads/2012/10/guia-ambiental-para-puertos-carbonc3adferos.pdf>.
- Mondragón, A. (2002). ¿Qué son los indicadores?. *Revista de información y análisis* 19, (1). [https://www.planeacion.unam.mx/descargas/indicadores/materiallectura/Mondragon02\\_inegi.pdf](https://www.planeacion.unam.mx/descargas/indicadores/materiallectura/Mondragon02_inegi.pdf)

- Mundo Minero, (2016). El buen momento de los materiales. <http://mundominero.com.co/el-buen-momento-de-los-materiales/>
- Neely, A., Gregory, M., & Platts, K. (1995). Performance measurement system design: a literature review and research agenda. *International Journal of Operations & Production Management*, 4(15), 80-116. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/01443579510083622/full/html>
- OCDE, (2014). Evaluaciones del desempeño ambiental Colombia. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36663/1/lcl3768\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36663/1/lcl3768_es.pdf)
- Olsthoorn, X., Tyteca, D., Wehrmeyer, W., & Wagner, M. (2001). Environmental indicators for business: a review of the literature and standardisation methods. *Journal of Cleaner Production*, 9(9), 453-463. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652601000051?via%3Dihub>
- Pearson, J., & Barnes, T. (1999). Improve environmental performance through community action. *Eco-Management and Auditing*, 6(2), 76-79. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/%28SICI%291099-0925%28199906%296%3A2%3C76%3A%3AAID-EMA97%3E3.0.CO%3B2-U>
- Plan Básico de Ordenamiento Territorial de Yumbo, (2001). Por medio del cual se adopta el plan básico de ordenamiento territorial del municipio de Yumbo (Valle), y se dictan otras disposiciones. <https://docplayer.es/74959994-Por-medio-del-cual-se-adopta-el-plan-basico-de-ordenamiento-territorial-del-municipio-de-yumbo-valle-y-se-dictan-otras-disposiciones.html>

Plan de desarrollo municipal, (2016). Unidos por Repelón incluyente y productivo.

[https://repelonatlantico.micolombiadigital.gov.co/sites/repelonatlantico/content/files/000082/4076\\_pdt-repelon-2016-30-mayo-2016-final.pdf](https://repelonatlantico.micolombiadigital.gov.co/sites/repelonatlantico/content/files/000082/4076_pdt-repelon-2016-30-mayo-2016-final.pdf)

Puolamaa, M., Kaplas, M., & Reinikainen, T. (1996). Index of environmental friendliness: a methodological study. Helsinki: Statistics Finland.

[https://books.google.com.co/books?id=qOoeGF83PA4C&pg=PA72&lpg=PA72&dq=Puolamaa,+M.,+Kapas,+M.,+%26+Reinikainen,+T.+\(1996\).+Index+of+environmental+friendliness:+a+methodological+study.+Helsinki:+Statistics+Finland.&source=bl&ots=e1aLjlf0TL&sig=ACfU3U0TDDmPIr10b\\_KogCpD5uR\\_vJ7y1w&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiIw7C-s5TqAhUKVzABHbkuAtgQ6AEwAXoECAoQAQ#v=onepage&q=Puolamaa%2C%20M.%2C%20Kapas%2C%20M.%2C%20%26%20Reinikainen%2C%20T.%20\(1996\).%20Index%20of%20environmental%20friendliness%3A%20a%20methodological%20study.%20Helsinki%3A%20Statistics%20Finland.&f=false](https://books.google.com.co/books?id=qOoeGF83PA4C&pg=PA72&lpg=PA72&dq=Puolamaa,+M.,+Kapas,+M.,+%26+Reinikainen,+T.+(1996).+Index+of+environmental+friendliness:+a+methodological+study.+Helsinki:+Statistics+Finland.&source=bl&ots=e1aLjlf0TL&sig=ACfU3U0TDDmPIr10b_KogCpD5uR_vJ7y1w&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiIw7C-s5TqAhUKVzABHbkuAtgQ6AEwAXoECAoQAQ#v=onepage&q=Puolamaa%2C%20M.%2C%20Kapas%2C%20M.%2C%20%26%20Reinikainen%2C%20T.%20(1996).%20Index%20of%20environmental%20friendliness%3A%20a%20methodological%20study.%20Helsinki%3A%20Statistics%20Finland.&f=false)

Ramírez, G. A. (2011). Desempeño ambiental: Una fortaleza de Colombia y un nuevo desafío para las empresas. Dinero. <https://www.dinero.com/opinion/opinion-online/articulo/desempeno-ambiental-fortaleza-colombia-nuevo-desafio-para-empresas/132839>

Ramos, T., & Melo, J. (2006). Developing and implementing an environmental performance index for the portuguese military. *Business Strategy and the Environment*, 15(2), 71-86. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/bse.440>

Raup, F. (2012). Modelo de autoavaliação do desempenho ambiental para a agroindústria: o caso da indústria sucroalcooleira do Mato Grosso do Sul (Tesis doctoral). Universidade Federal

de Santa Catarina, Florianópolis.

[http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFSC\\_276de94ac21539b80faaaee401964cd](http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFSC_276de94ac21539b80faaaee401964cd)

Rincón, C. (2011). Indicadores de costos. Libre empresa, 1 (8), 2.

[https://www.researchgate.net/publication/301769916\\_Indicadores\\_de\\_costos](https://www.researchgate.net/publication/301769916_Indicadores_de_costos)

Roberts, H. Gary R. (2003). Manual de sistema de gestión medio ambiental.

<https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=EjZsRZd2IUQC&oi=fnd&pg=PP15&dq=Roberts+H,+2003+sistema+de+gestion&ots=Bx7nNg6TyO&sig=awqMVNIyCorta85ys4kdZibWHSg#v=onepage&q&f=false>.

Rojas, M., Jaimes, L., Valencia, M. (2018). Efectividad, eficacia y eficiencia en equipos de trabajo.

Revista espacios, 39 (6), 4.

<https://www.revistaespacios.com/a18v39n06/a18v39n06p11.pdf>

Saaty, T. L. (1996). Decision making with dependence and feedback: the analytic network process.

Pittsburgh: RWS Publications. <http://www.cs.put.poznan.pl/ewgmcda/pdf/SaatyBook.pdf>

Saaty, T.L. (2001) The seven pillars of the analytic hierarchy process. University of Pittsburgh.

2001 [https://www.researchgate.net/publication/227049069\\_The\\_Seven\\_Pillars\\_of\\_the\\_Analytic\\_Hierarchy\\_Process](https://www.researchgate.net/publication/227049069_The_Seven_Pillars_of_the_Analytic_Hierarchy_Process)

Saaty, T. L. (2003). The seven pillars of the analytic hierarchy process. En T. L. Saaty & L. G.

Vargas (Eds.), multiple criteria decision making in the new millennium (Cap. 2, pp. 23-40,

Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, 507). Heidelberg: Springer-

Verlag Berlin Heidelberg. <https://www.springer.com/gp/book/9781461472780>

Sellitto, M., Borchardt, M., & Medeiros-Pereira, G. (2010). Modelagem para avaliação de

desempenho ambiental em operações de manufatura. Gestão & Produção, 17(1), 95-

109. [https://www.researchgate.net/publication/240972017\\_Modelagem\\_para\\_avaliacao\\_d\\_e\\_desempenho\\_ambiental\\_em\\_operacoes\\_de\\_manufatura](https://www.researchgate.net/publication/240972017_Modelagem_para_avaliacao_d_e_desempenho_ambiental_em_operacoes_de_manufatura)
- Soares, P.S.M., Cunha, O.G.C. & Yokoyama, L. (2004). Environmental Performance Indicators In The Mineral Industry, Chile. <https://www.cetem.gov.br/images/congressos/2004/CAC00030004.pdf>
- Tafernaberry, E. (2018). Desarrollo de metodología de decisión multicriterio ANP en la gestión de proveedores: Integración de selección, evaluación y desarrollo de proveedores. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/101264/TAFERNABERRI%20-%20Desarrollo%20de%20metodolog%C3%ADa%20de%20decisi%C3%B3n%20multicriterio%20ANP%20en%20la%20gesti%C3%B3n%20de%20proveedor....pdf?sequence=1>
- Tangen, S. (2005). Analysing the requirements of performance a measurement systems. *Measuring Business Excellence*, 9(4), 46-54. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/13683040510634835/full/html>
- The OECD Jobs Study (1994). *Facts, Analysis, Strategies*. <https://www.oecd.org/els/emp/1941679.pdf>
- Unidad de planeación minero energética. (2014). *Indicadores de la minería en Colombia*. [http://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/EstudiosPublicaciones/Indicadores\\_de\\_la\\_mineria\\_en\\_Colombia.pdf](http://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/EstudiosPublicaciones/Indicadores_de_la_mineria_en_Colombia.pdf)
- Universidad de Alcalá, (1998). *Historia del pensamiento crítico*. <http://www3.uah.es/econ/hpeweb/CrisyFluc/HPE9813.htm#INTRODUCCI%C3%93N>
- Universidad de Manizales, (2012). *La variable ambiental como factor de la competitividad regional: Propuesta de un índice de desempeño ambiental para el plan regional de competitividad de Risaralda*.

<http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1055/Tesis%20Francisco%20Uribe%202012.pdf?sequence=1>

Velázquez, J.A. (2012). Buenas prácticas ambientales y sociales en la minería. Minas Paz del Río. VP Desarrollo sostenible. [Presentación en línea]<http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/eventos/2012/cim/documentos/bpractic-as.pdf>

Zambrano, M., Arias, A., Marulanda, C., y Quintero, J. (2017). Índice de desempeño exportador del carbón (hullas, coques y semicoques) en Norte de Santander en el periodo 2006-2013, 38, 1-12. <http://www.revistaespacios.com/a17v38n38/a17v38n38p03.pdf>