

## **Optimización de las acciones ambientales en empresa que explota agregados pétreos en La Guajira, Colombia**

*Optimization of environmental actions in company that exploits stone aggregates in La Guajira, Colombia*

Danny Daniel López Juvinao<sup>1\*</sup> Lina Marcela Ginete Siosi<sup>1</sup> Yorelis Yulieth Iguaran Montaña<sup>1</sup>

Recibido 18 de octubre de 2020, aceptado 08 de abril de 2022

*Received: October 18, 2020 Accepted: April 08, 2022*

### **RESUMEN**

En el presente estudio se determinaron acciones ambientales para una empresa minera dedicada a la explotación de agregados pétreos en La Guajira, con el fin de optimizar sus procesos productivos. La metodología se basó inicialmente en la ejecución de varias visitas a las instalaciones de la mina, seguido de la identificación de impactos ambientales, mediante la elaboración de la lista de chequeo y valoración de impactos. Posterior a esto, se establecieron medidas para prevenir, mitigar o compensar, los impactos generados por la empresa y se propusieron lineamientos ambientales. Los resultados evidencian que el criterio de calificación que más prevaleció para los impactos identificados fue el de –impacto moderado–, donde se indica que el recurso aire, es el factor más susceptible para recibir impacto ambiental, debido a los procesos de extracción, procesamiento y comercialización dentro de la empresa; con base a la valoración, fueron escogidos los 5 impactos con mayor importancia para la elaboración de los diferentes programas ambientales. Finalmente, se concluye que ejecutar coherente y sosteniblemente acciones ambientales, permite mejorar el desarrollo local de la empresa minera en sus aspectos sociales y ambientales. Además, con la optimización de los procesos productivos, la empresa podrá rediseñar sus técnicas de negocio con el objetivo de reducir costos y promover el desarrollo sostenible.

Palabras clave: Optimización, Acciones ambientales, impactos ambientales, procesos productivos, minería.

### **ABSTRACT**

*This study determined the environmental actions of a mining company dedicated to exploiting stone aggregates in La Guajira to optimize its production processes. The methodology was initially based on the execution of several visits to the mine facilities, followed by identifying of environmental impacts through the elaboration of the checklist and impact assessment. After this, measures were established to prevent, mitigate, or compensate for the impacts generated by the company, and environmental guidelines were proposed. The results show that the qualification criterion that prevailed more for the identified impacts was the one of –moderate impact–, where it is indicated that the air resource is the most susceptible factor to receive environmental impact due to the processes of extraction, processing, and commercialization inside the company; based on the valuation, the 5 impacts with more importance were chosen for the development of the different environmental programs. Finally, it is concluded that executing environmental actions coherently and sustainably allows to improve the local development of the mining company in its social and environmental aspects. Additionally, with the optimization of the productive processes, the company will be able to redesign its business to reduce costs and promote sustainable development.*

*Keywords: Optimization, environmental actions, environmental impacts, production processes, mining.*

---

<sup>1</sup> Universidad de La Guajira. Facultad de ingeniería. Riohacha, Colombia.

E-mail: dlopezj@uniguajira.edu.co; lginete@uniguajira.edu.co; yyuliethiguaran@uniguajira.edu.co

\* Autor de correspondencia: dlopezj@uniguajira.edu.co

## INTRODUCCIÓN

La actividad económica relacionada con la extracción de elementos metálicos y no metálicos (cobre, oro, plata, arcilla, cal, agregados pétreos, etc.) de los cuales se puede obtener un beneficio económico, mejor conocida como minería, es una de las actividades con mayor desarrollo en los últimos años, tanto a nivel nacional como internacional. Sin embargo, ha estado ligada a la producción de grandes volúmenes de residuos sólidos, líquidos y gaseosos, que han provocado la alteración y desequilibrio medio ambiental, durante el ciclo de vida de la mina [1].

Se estima que hay alrededor de 2500 minas productoras de metales; es decir, 2500 operaciones de minerales industriales, y casi 100.000 canteras productoras de agregados pétreos que corresponden a escala industrial, sin contar con la minería de pequeña escala o minería artesanal, donde la minería a cielo abierto representa alrededor del 83% de la producción total de la minería industrial de metales y la minería subterránea el 17% restante [2], esto se debe a que la minería a cielo abierto es una de las más factibles y comúnmente utilizada, no obstante, genera más desechos que las minas subterráneas [3]. El material estéril de las minas es depositado en terrenos donde se encuentra en contacto con la atmósfera y el agua, la presencia conjunta de estos elementos favorece al proceso de oxidación en los minerales sulfurosos de hierro que provocan la contaminación de suelos y aguas subterráneas durante décadas o hasta ciento de años [4].

En un mundo cada vez más competitivo y globalizado, donde la optimización de los recursos y el máximo aprovechamiento de son absolutamente necesarios, obliga al sector minero a integrar nuevas tecnologías que suponen el mejoramiento de la eficiencia en los procesos productivos, lograr una adecuada explotación en zonas de difícil acceso, la obtención de minerales a través de medios más eficientes y menos [5-7].

En ese sentido, Colombia a través de la Constitución Política de 1991, adoptó el modelo del desarrollo sostenible, el cual conforme a lo previsto en el artículo 3 de la Ley 99 de 1993, busca compatibilizar el desarrollo económico, la elevación de la calidad de vida y el bienestar social, con la preservación del medio ambiente, sin agotar la base de los recursos naturales renovables.

La minería colombiana, ha registrado un dinamismo importante en las últimas décadas; este hecho se manifiesta en que el sector ha tenido tasas de crecimiento superiores a las presentadas por otros sectores productivos como manufacturas, energía, servicios personales, agropecuarios, silvicultura y pesca. Cabe resaltar que la actividad minera en el país tiene varias escalas, estándares de producción y manejo ambiental. No obstante, su legislación y procesos ambientales se han quedado corta en la exigencia, eficiencia de sus cumplimientos y en la regulación de los comportamientos humanos.

Particularmente, [8] indica que en La Guajira se mueve en un escenario promisorio, está en pleno auge minero y las proyecciones son excelentes económicamente. Su estructura geológica está conformada por rocas sedimentarias y metamórficas, y, en menor proporción rocas ígneas; cuenta con recursos minerales abundantes, entre los que se destacan los yacimientos de carbón, sal y materiales de construcción [9-11]. Sin embargo, el desarrollo de esta actividad en La Guajira ha significado el deterioro de los recursos naturales esenciales para la vida: el agua y el aire; y se hace necesario subsanar esta problemática con el mejoramiento de las instituciones políticas y educativas, la construcción de un sistema de salud que responda a las necesidades de este territorio y la gestión de un modelo de desarrollo sostenible y sustentable.

Teniendo en cuenta lo anterior, este estudio busca promover la mitigación, prevención y corrección de los impactos negativos causados al ambiente por esta actividad, dado que la optimización de los acciones ambientales pueden asegurar la mejora significativa de los procesos productivos de la empresa, reduciendo el riesgo de ocurrencia en accidentes y generar mayor confiabilidad al disminuir efectos, como la generación de enfermedades, erosión y degradación de suelos, contaminación del recurso hídrico, extinción de fauna y flora, contaminación atmosférica, entre otros.

## MATERIALES Y METODOS

La investigación es carácter descriptiva, con diseño de campo, no experimental y de corte transeccional correlacional-causal [12, 13], cuyas fuentes provienen de revisión documental y observación directa [14]. En la Tabla 1 se observa la población, que fue de

Tabla 1. Número de áreas productivas en la empresa minera.

Áreas productivas	Cantidad
Zona de extracción	1
Zona de procesamiento	1
Zona de comercialización	1
<b>Total</b>	<b>3</b>

carácter finita correspondiente el área productiva de empresas que explotan agregados pétreos en La Guajira.

La técnica de recolección utilizada en esta investigación fue un cuestionario [12, 13] con un modelo de pregunta y respuesta abierta, estructurado por 60 ítems, para evaluar las variables de estudio: sistema de producción, impactos ambientales, medidas ambientales y lineamientos ambientales. Además de una lista de chequeo basada en un ciclo iterativo con un diseño de investigación cuantitativo y cualitativo [15-17]. Donde, la metodología propuesta por [18], consiste en un cuadro de doble entrada en cuyas columnas figuran las acciones impactantes y en las filas los factores ambientales susceptibles de recibir impactos y sus afectaciones, causadas por la explotación de agregados pétreos en La Guajira. Este cuadro se obtiene mediante la búsqueda de la información en campo y el procesamiento de los datos, a partir de [18], como se muestra en las Tablas 2, Tabla 3, Tabla 4 y la ecuación (1).

La Tabla 2 muestra la valoración cualitativa: magnitud e importancia de impacto ambiental, según naturaleza, intensidad, extensión, momento, persistencia, reversibilidad, sinergia, acumulación, efecto, periodicidad y recuperabilidad de este, reflejado en los recursos presente en la zona y actividades involucradas en el sistema productivo de la empresa minera. En la Tabla 3 se muestra la valoración cuantitativa, donde cada característica tuvo un nivel de calificación con su respectivo valor. En la ecuación (1), se muestra el cálculo para definir el nivel de importancia de cada impacto ambiental ( $I_{IA}$ ), teniendo en cuenta la valoración cualitativa y cuantitativa de los impactos ambientales, obtenida en las Tabla 2 y Tabla 3.

$$IIA = \pm \Sigma (3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC) \quad (1)$$

Tabla 2. Valoración cualitativa y cuantitativa de los impactos ambientales.

Naturaleza	(+) Beneficioso	
	(-) Perjudicial	
Intensidad	Bajo	1
	Medio	2
	Alto	4
	Muy alto	8
Extensión	Puntual	1
	Parcial	2
	Extensa	4
	Total	8
Momento	Largo	1
	Medio	2
	Inmediato	4
Persistencia	Fugaz	1
	Temporal	2
	Permanente	4
Reversibilidad	Corto	1
	Mediano	2
	Irreversible	4
Acumulación	Simple	1
	Acumulativo	4
Sinergia	Sin sinergia	1
	sinérgico	2
	Muy sinérgico	4
Efecto	Indirecto	1
	Directo	4
Periodicidad	Irregular	1
	Periódico	2
	Continuo	4
Recuperabilidad	Inmediato	1
	Media	2
	Mitigable	4
	Irrecuperable	8

Fuente: Adaptado [18].

Luego, de valorar cualitativa-cuantitativamente y contar con los niveles de importancia para cada impacto ambiental identificado, se definieron rangos para priorizar los factores ambientales receptores de impacto, a partir de [18]. En la Tabla 4 se relacionan los tipos de impactos y los criterios de priorización, según la importancia de cada uno de estos, obtenidas en la ecuación (1).

Por otra parte, la Validez y confiabilidad de los instrumentos utilizados para la investigación evaluaron la pertinencia en relación con su alcance, contenido, efectividad, coherencia, redacción, entre

Tabla 3. Consideraciones cualitativas para la valoración de impacto ambiental.

Características		Consideración
Naturaleza	(+/-)	Se hace alusivo al carácter beneficioso o perjudicial de las distintas acciones que van a actuar sobre los distintos factores considerados.
Intensidad	(IN)	Se refiere al grado de incidencia de la acción sobre el factor, en el ámbito específico sobre el que actúa.
Extensión	(EX)	Se refiere al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto
Momento	(MO)	El plazo de manifestación alude al tiempo que transcurre entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sobre el factor del medio considerado.
Persistencia	(PE)	Se refiere al tiempo que supuestamente permanecerá el efecto desde su aparición y a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales previas a la acción por medios naturales, o mediante la introducción de medidas correctoras.
Reversibilidad	(RV)	Posibilidad de reconstrucción del factor afectado por el proyecto, por medios naturales.
Sinergia	(SI)	La componente total de la manifestación de los efectos simples, provocados por acciones que actúan simultáneamente, superior a la esperada al actuar de manera independiente
Acumulación	(AC)	Incremento progresivo de la manifestación del efecto, cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera.
Efecto	(EF)	Se refiere a la relación causa – efecto o forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de una acción
Periodicidad	(PR)	Regularidad de la manifestación del efecto: cíclica, impredecible o constante en el tiempo.
Recuperabilidad	(MC)	Posibilidad de reconstrucción del factor afectado por el proyecto, por intervención humana.

Fuente: Adaptado [18].

Tabla 4. Criterios para la priorización de impactos ambientales.

Impactos ambientales	Criterios de priorización
Impactos inferiores	Impactos con calificación de importancia $\leq 25$ unidades de calificación. Son generalmente puntuales, de baja intensidad reversibles en el corto plazo. El manejo recomendado es control y prevención.
Impacto moderado	Impactos con calificación de importancia entre $>25-50 \leq$ unidades de calificación. Son impactos generalmente de intensidad media o alta, reversibles en el mediano plazo y recuperable en el mismo plazo. Las medidas de manejo son de control, prevención y mitigación.
Impactos superiores	Impactos con calificación de importancia entre $>50-75 \leq$ unidades de calificación. Son generalmente de intensidad alta o muy alta, persistentes, reversibles en el mediano plazo. Las medidas de manejo son de control, prevención, mitigación y hasta compensación.
Impacto Critico	Impactos con calificación de importancia entre $> 75$ unidades de calificación. Son generalmente de intensidad muy alta o total, extensión local e irreversibles ( $>10$ años). Para su manejo se requieren medidas de control, prevención, mitigación y hasta compensación.

Fuente: Adaptado [18].

otros y se validó por medio del criterio de consulta técnica a expertos en las áreas de metodología de la investigación, en ciencias ambientales y minería en La Guajira y la confiabilidad no fue medida, por cuanto este estudio está sujeto a criterios propios como investigadores tanto en la observación en campo como para la selección de material documental.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Sistema de producción

Tradicionalmente, una operación minera se segmenta en distintas disciplinas básicas, como: la geología, minería y procesamiento desde una

perspectiva técnica, centrándose en la extracción de un cuerpo mineralizado para producir concentrados o metales comercializables. Hay varias funciones de apoyo que son críticas para el éxito de estas disciplinas técnicas, como la administración, el mantenimiento, la tecnología de la información, la cadena de suministro, la seguridad, el medio ambiente y las relaciones con la comunidad [19]. En particular, la minería a cielo abierto requiere un procesamiento de minerales para obtener un producto comercializable. Así, los minerales deben pasar por una serie de operaciones diferentes para obtener los productos finales: trituración o reducción de tamaño, separación de tamaño, concentración o beneficio y deshidratación [20]. El sistema de producción de la empresa minera objeto de estudio cuenta con tres actividades principales: extracción, procesamiento y comercialización.

A groso modo, al principio del sistema de producción para la explotación de agregados pétreos en La Guajira, se realiza la extracción del material aluvial originalmente del río, por medio de la excavación del suelo, utilizando una maquina Caterpillar 336d, la cual extrae el material y lo deposita a un lado del río formando aglomeraciones. Posteriormente, una volqueta es la encargada de cargarlo y transportarlo a la zona de trituración. Luego, en la fase de procesamiento la empresa minera, ejecuta el proceso de trituración del material aluvial, donde se reduce su tamaño dependiendo el uso al que se destine. Al día siguiente se realiza la trituración del material y luego con la ayuda de una retroexcavadora este es transportado por una Volqueta 3-50 a las zonas de acopio, que se encuentran al aire libre y aproximadamente a una distancia de 40 metros de las plantas de triturado. Finalmente, la fase de comercialización del sistema de producción de la empresa consiste en brindar las condiciones y vías de distribución para la venta del producto. Los

tamaños de agregados que ofrece la empresa son: 1", 1/2" y 3/4".

### Impactos ambientales

En las últimas décadas, la escala y las implicaciones de los impactos ambientales provocado por las acciones humanas han crecido, por ello ha surgido metodologías como la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) como un componente clave para la gestión ambiental [21]. Uno de los métodos más simples y rentables de investigar el procedimiento de EIA es revisar el resultado documental clave de la EIA, mediante el uso de una lista de verificación para acceder a toda la información documental clave relevante, como apéndices técnicos y acuerdos de planificación; donde, las visitas al sitio, las entrevistas y los cuestionarios proporcionarán un contexto más rico con un mayor nivel de detalle, proporcionando una imagen más amplia de la práctica evaluada. Además, permite realizar comparaciones detalladas y sistemáticas, la identificación de patrones y tendencias a lo largo del tiempo, proporcionando una base de pruebas para ayudar a promover políticas y legislaciones ambientales [22].

A continuación, en la Tabla 5 se observan los resultados de la lista de chequeo en la que se relacionan los factores ambientales receptores de recibir impacto y las actividades susceptibles de producir impactos en la empresa minera de agregados pétreos en La Guajira.

Mediante la aplicación de la lista de chequeo, se encontró que el deterioro de la calidad del aire se ve alterada por la propagación y transporte de material particulado, generadas en la trituración del material aluvial y en la movilización de los vehículos. Así mismo, se encontró que el ruido ambiental es producto, principalmente, de la operación de

Tabla 5. Lista de chequeo aplicada a empresa que explota agregados pétreos.

Factor ambiental	Componente	Actividades del sistema de producción		
		Extracción	Procesamiento	Comercialización
Aire	Contaminación		X	X
	Generación de ruido	X	X	
Suelo	Alteración estructural	X		
Socioeconómico	Generación de empleo	X	X	X

máquinas y equipos utilizados en actividades de excavación, transporte, descargue y trituración del material aluvial. Por ejemplo, la maquina Caterpillar 336d, utilizada en la zona de extracción posee un nivel de ruido exterior de 105 dB y la retroexcavadora, esta emite un nivel de ruido de 84-93 dB. Por otro lado, se halló que la alteración de la estructura del suelo por la extracción del material aluvial genera alteración de la geomorfología y Pérdida física de suelo. Contrario a esto, los impactos socioeconómicos benefician la situación económica y la calidad de vida de los trabajadores de la empresa.

En la Tabla 6, se muestra la valoración de los diferentes impactos que son generados en la mina de agregados pétreos en La Guajira, en de las etapas de extracción, procesamiento y comercialización del mineral y se muestran los valores de importancia para cada impacto ambiental, utilizando los criterios del método propuesto por [18].

Según la Tabla 6, el deterioro de la calidad del aire por la emisión de material particulado, el ruido ambiental generado por maquinaria, la alteración de la estructura del suelo por la extracción del material aluvial y generación de empleo, presentan un nivel de importancia “Moderado”.

**Medidas ambientales**

Las medidas ambientales de los proyectos de minería se realizan progresivamente, de manera que se minimicen los impactos ambientales generados al medio ambiente y en el área de

influencia de sus actividades, utilizando numerosas tecnologías, metodologías de gestión y estrategias para mitigar los efectos adversos causados por la minería, manteniendo la productividad de la tierra y manteniéndola apta para su reutilización [23]. Sobre la base de una evaluación de los impactos ambientales potenciales de una actividad, se toman medidas para evitar y luego minimizar los impactos en la medida de lo posible. Después de esto, se deben considerar oportunidades para remediar (es decir, revertir los impactos ambientales) antes de explorar el último recurso de compensaciones para abordar cualquier impacto inevitable [24]. En el presente estudios, a partir de la identificación y su consecuente valoración, se establecieron los impactos ambientales significativos, que potencialmente genera la empresa minera, se recomienda medidas de prevención, mitigación y compensación con sus diferentes medidas ambientales (ver Tabla 7-Tabla 10).

**Lineamientos Ambientales**

Las empresas mineras, además de reportar beneficios socioeconómicos, deben internalizar de manera efectiva los impactos ambientales y sociales que generan por las actividades mineras y para ello, es indispensable formular lineamientos para la regular las externalidades ambientales causadas a lo largo de sus actividades, incluyendo el cierre de las minas y promover la producción limpia [25].

Según [26], un sistema de gestión ambiental es clave para lograr una producción limpia en las empresas mineras, ayudando a que la operación cumpla con

Tabla 6. Valoración de impactos ambientales en empresa que explota agregados pétreos.

Factor ambiental	Impactos generados	Naturaleza	Extensión	Persistencia	Sinergia	Efecto	Recuperabilidad	Intensidad	Momento	Reversibilidad	Acumulación	Periodicidad	Importancia
Aire	Deterioro de la calidad del aire por la emisión de material particulado.	(-)	4	2	2	4	4	4	4	2	1	4	<b>43</b>
	Ruido ambiental generado por maquinaria	(-)	1	2	1	4	4	4	4	2	1	4	<b>36</b>
Suelo	Alteración de la estructura del suelo por la extracción del material aluvial.	(-)	4	2	1	4	8	4	2	4	1	2	<b>38</b>
Humano	Generación de empleo	(+)	1	2	1	4	1	8	2	2	1	2	<b>47</b>

Tabla 7. Medidas de prevención para factor humano en empresa que explota agregados pétreos.

<b>Disminución de riesgos laborales</b>	
<b>Efecto ambiental para prevenir</b>	<b>Afectación a la salud de los empleados y habitantes de las comunidades aledañas</b>
<p><b>Descripción de la medida:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar la periodicidad de revisión y mantenimiento a los equipos y maquinaria que se utilizan para las actividades de explotación minera.</li> <li>• Verificar que los vehículos de transporte del material cuenten con el seguro obligatorio de accidentes de tránsito (SOAT).</li> <li>• Instalar señalizaciones de advertencia, seguridad y paso peatonal dentro de las instalaciones de la empresa.</li> <li>• Delegar a una persona que realice jornadas de monitoreo para verificar el uso adecuado de los elementos de protección personal.</li> <li>• Desarrollar capacitaciones al personal en general sobre los factores de riesgos a los que están expuestos por el trabajo en el que se desempeñan abarcando temáticas como salud ocupacional, seguridad industrial y calidad ambiental; dado el caso de una nueva contratación de personal a estos deberán ofrecérseles una jornada intensa de capacitaciones donde se les brinde la misma información manejada por el resto de los trabajadores.</li> <li>• Implementar jornadas de vigilancia a la salud, donde se promueva la asistencia médica para detectar de manera temprana daños a la salud en trabajadores y habitantes de comunidades aledañas.</li> <li>• Suministrar un botiquín de emergencia a los trabajadores durante la jornada laboral, provista de todos los insumos necesarios (gasa estéril, esparadrapo, guantes, tijeras, etc.) Para brindar los primeros auxilios en caso de accidentes.</li> </ul>	
<p><b>Indicadores de éxito:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de accidentes laborales por jornadas de trabajo.</li> <li>• Reducción de enfermedades en los empleados durante el año.</li> </ul>	

Tabla 8. Medidas de mitigación para factor aire en empresa que explota agregados pétreos.

<b>Control de emisiones de material particulado y ruido</b>	
<b>Efectos ambientales para mitigar</b>	<b>Afectación a la salud de operarios y de la población.</b>
<p><b>Descripción de la medida:</b></p> <p><b>Material particulado y polvo:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementar métodos de control de velocidad, para el tránsito de vehículos en todas las instalaciones de la empresa, entre ellos: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Señalizaciones</li> <li>– Reductores de velocidad</li> </ul> </li> <li>• Exigir a los clientes cubrir la tolva de los camiones durante el transporte del material, como una condición de venta del producto.</li> <li>• Incrementar la frecuencia de riego, en la zona de trituración, caminos de acceso y zonas de paso en la empresa minera.</li> <li>• Mantener el material procesado en las zonas de acopio con un grado de humedad que permita evitar la formación de polvo.</li> <li>• Cuando se presenten condiciones climáticas adversas, suspender de manera voluntaria algunas operaciones mineras, para mantener las concentraciones de polvo dentro de los límites máximos permisibles.</li> </ul> <p><b>Ruido:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar periódicamente mediciones de ruido para verificar el cumplimiento de los límites máximos permisibles en la normativa vigente (resolución 0627 del 2006).</li> <li>• Efectuar revisiones técnico-mecánicas de los vehículos con mayor frecuencia.</li> <li>• La maquinaria pesada utilizada para la extracción de materiales, así como las volquetas deberán contar con silenciadores y sistemas de conducción de humo y vapores en perfecto estado.</li> </ul> <p><b>Salud humana:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Asignar un vigilante de seguridad, encargado de verificar que el ingreso de las personas a la mina sea realizado con todo el equipo de protección personal.</li> <li>• Desarrollar programas de capacitación al personal de trabajo para el adecuado manejo de implementos de protección.</li> <li>• Realizar brigadas de salud en las comunidades aledañas.</li> </ul>	
<p><b>Indicadores de éxito:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajas concentraciones de material particulado y/o polvo en suspensión.</li> <li>• Disminución de los niveles de ruido en la zona de trituración.</li> <li>• Ausencia de enfermedades laborales en operarios y de los pobladores locales.</li> </ul>	

Tabla 9. Medidas de mitigación para factor suelo en empresa que explota agregados pétreos.

<b>Mejoramiento del proceso de extracción</b>	
<b>Efecto ambiental para mitigar</b>	<b>Perdida de la estructura natural del suelo</b>
<p><b>Descripción de la medida:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evitar excavaciones y remociones de suelo innecesarias, ya que las mismas producen daños al hábitat.</li> <li>• El material aluvial removido que la empresa minera considera no útil para ser transformado debe ser dispuesto en el área de extracción para estimular la auto regeneración del suelo y reestablecer su estructura natural. También puede ser utilizado para obras civiles dentro de la empresa.</li> <li>• Se deben establecer pilas con formas apropiadas y ajustadas al espacio disponible, teniendo presente no acumular demasiado suelo en un mismo sitio, debido a que con alturas excesivas se inhibe la capacidad de intercambio gaseoso y la posibilidad de conservar la microfauna.</li> </ul>	
<p><b>Indicadores de éxito:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Extracción de materia prima en excelentes condiciones.</li> <li>• Ausencia de material aluvial removido en zonas del río ya explotadas.</li> </ul>	

Tabla 10. Medidas de compensación para factor suelo en empresa que explota agregados pétreos.

<b>Reforestación de áreas descubiertas para el desarrollo de la actividad minera</b>	
<b>Efecto ambiental por compensar</b>	<b>Perdida de cobertura vegetal</b>
<p><b>Descripción de la medida:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Efectuar reforestaciones con vegetación endémica del lugar en el sector impactado por la construcción del área administrativa, los alrededores del río donde culminaron los procesos de extracción y cerca de las pilas de acopio del material transformado.</li> <li>• Se recomienda la plantación de árboles como el “cedro”, “guayacán de bola” y “ceiba tolúa”, teniendo en cuenta que son árboles que pueden ser sembrados en cualquier época del año, pero que sin embargo debe llevarse un tratamiento con el cual se asegure su supervivencia, de manera que se estimule el ritmo de crecimiento de la planta, brindándole nutrientes al suelo y ofreciéndole los factores necesarios para su desarrollo, mediante el riego constante, control de insectos y aplicación de abonos orgánicos.</li> <li>• Utilizar mallas o barreras protectoras que aíslen totalmente cada árbol sembrado; se retirará esta protección en el momento que la planta deje de presentar riesgos por factores antropogénicos en su crecimiento o supervivencia verificando, de igual manera que ninguno de los árboles haya sufrido daño alguno.</li> </ul>	
<p><b>Indicador de éxito:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Número de hectáreas reforestadas</li> </ul>	

las regulaciones ambientales, identifique beneficios técnicos y económicos y garantice la adopción de políticas ambientales corporativas, permitiendo mediante procedimientos organizacionales, responsabilidades ambientales y procesos ambientales se garantice que en la mina se alcancen las metas y los objetivos ambientales. Aquí, se sugiere en conformidad a lo establecido en distintas normativas de carácter ambiental en Colombia, que la empresa minera de agregados pétreos integre los siguientes lineamientos ambientales a su sistema de producción. En la Tabla 11 se observan los lineamientos ambientales en empresa que explota agregados pétreos en La Guajira, con relación a la legislación colombiana.

## CONCLUSIONES

Con el desarrollo de la presente investigación se pudo obtener información veraz acerca del estado y desarrollo actual de empresa dedicada a la explotación de agregados pétreos, a partir de la utilización y seguimiento de un plan metodológico apoyado en la aplicación de una lista de chequeo y la evaluación de impacto ambiental.

Gracias a las visitas realizadas en las instalaciones de la empresa minera de agregados pétreos y a la información suministrada por los representantes legales, se logró describir de forma exitosa el sistema de producción, es decir, todos los elementos y procesos llevados a cabo para extraer, transformar

Tabla 11. Lineamientos ambientales en empresa que explota agregados pétreos.

Legislación	Lineamiento Ambiental	Descripción
Resolución 2254 del 2015 (Art. 5)	Sistema de vigilancia de la calidad del aire (SVCA)	Teniendo en cuenta que un SVCA, es un conjunto de procesos, herramientas e instrumentos que tiene como fin el determinar los niveles de inmisión que se dan en un área determinada; se sugiere a la empresa minera la adopción de esta infraestructura. Para ello debe contar con un documento de diseño o rediseño y de operación de acuerdo con lo establecido en el protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire.
Decreto 948 de 1995 (Art. 63) y la resolución 0627 del 2006 (Art. 9).	Uso de silenciadores en correcto estado de funcionamiento	La mina de agregados pétreos deberá prohibir la circulación de vehículos que no cuenten con sistema de silenciador en correcto estado de funcionamiento; debido a que, los silenciadores ayudan a cumplir con los estándares máximos permisibles al disminuir el ruido a niveles seguros.
Decreto 2222 de 1993 (Art. 9-10)	Comité de medicina, higiene y seguridad.	Conformar un comité de medicina, higiene y seguridad, cuya organización y funcionamiento se rija por las normas vigentes expedidas por los Ministerios de Trabajo y Seguridad Social. Dentro de sus funciones estarían: proponer y participar en capacitaciones en salud ocupacional, Vigilar al desarrollo de las actividades en materia de medicina, higiene y seguridad industrial, colaborar en el análisis de las causas de los accidentes de trabajo, etc.
Decreto 2811 de (artículo 182) y la resolución 0170 del 2009 (artículo segundo)	Medidas de conservación de los suelos	Reformular políticas y directrices e impulsar nuevos planes, programas y proyectos dirigidos a la conservación, protección, restauración, recuperación y rehabilitación del suelo en la zona de extracción de la empresa minera.

y comercializar el material aluvial. Donde, se encontró que el tipo de explotación que se desarrolla es minería a cielo abierto, mediante el sistema de cantera y los materiales explotados son depositados por las aguas de escorrentía superficial (rocas de tipo sedimentario), que se utilizan primordialmente para obras civiles: pavimentos y concreto asfáltico.

Además, se concluye que, con la elaboración de la lista de chequeo se pudieron determinar los factores ambientales potencialmente afectados en las etapas del sistema de producción de la empresa minera; en su totalidad fueron identificados cuatro impactos ambientales. Además, la valoración ambiental desarrollada con la metodología de clasificación propuesta por [18], permitió profundizar en la caracterización e interpretación de los impactos ya identificados. Donde, la generación de empleo obtuvo el mayor nivel de importancia con un valor de 47, así mismo, fue el único impacto de carácter positivo identificado, lo que beneficia la dinámica de la economía, las condiciones y calidad de vida

de los habitantes en la región. También se pudo inferir que el factor ambiental más afectado es el aire, pues la emisión de material particulado y ruido es realizada de forma constate dentro de las instalaciones minera.

También, se concluye que los impactos ambientales causados por las actividades que ejecuta la empresa minera se encuentran en un nivel de importancia “Moderado”, por consiguiente, su recuperación no precisa prácticas protectoras o correctoras intensivas. De esta manera, se logra precisar varias medidas de mitigación, compensación y prevención ambiental para la empresa minera, en base a la información que arroja la valoración de impactos; priorizando aquellos, que representan mayor riesgo para el personal que labora en el área de la mina, sobre personas que frecuentan el medio circundante, y, sobre los medios físico, biótico y socioeconómico. Con la adopción de los programas ambientales, la empresa minera conseguiría evidenciar su compromiso con la conservación y protección

del entorno natural, reconociendo la importancia que tienen los servicios de ecosistemas terrestres y acuáticos para la sostenibilidad ambiental de la región y el país.

De esta manera se concibe que ejecutar de manera coherente y sostenible acciones ambientales, permite mejorar el desarrollo local de la empresa minera en todos sus aspectos, sociales, económicos y ambientales. Además, con la optimización de los procesos productivos, se espera que la empresa minera podrá rediseñar sus técnicas de negocio con el objetivo de reducir costos y mejorar la eficiencia en su sistema de producción.

Finalmente, se recomienda a las empresas dedicadas a la explotación de agregados pétreos, contratar trabajadores competentes con los conocimientos, habilidades y experiencia para llevar a cabo los procesos de producción y proveer a los trabajadores que aún no cuentan con suficiente experiencia, formación industrial, mediante capacitaciones, que contribuyan al mejoramiento de sus habilidades.

## REFERENCIAS

- [1] M. Forget and M. Rossi. "Mining region value and vulnerabilities: Evolutions over the mine life cycle". *The Extractive Industries and Society*. Vol. 8 Issue 11, pp. 1-12. 2020. DOI: 10.1016/j.exis.2020.07.010.
- [2] M. Ericsson. "Mining technology - trends and development". *Polinares*. 2012.
- [3] E. Ben-Awiah, O. Richter, T. Elkington and Y. Pourrahimian. "Strategic mining options optimization: Open pit mining, underground mining or both". *International Journal of Mining Science and Technology*. Vol. 26 N° 6, pp. 1065-1071. 2016. DOI: 10.1016/j.ijmst.2016.09.015.
- [4] R.C. Goodfellow and R. Dimitrakopoulos. "Global optimization of open pit mining complexes with uncertainty". *Applied Soft Computing*. Vol. 40, pp. 292-304. 2016. DOI: 10.1016/j.asoc.2015.11.038.
- [5] M. King. "Introducción a los Eicosanoides". *The medical biochemistrypage*. 2017. URL: <https://themedicalbiochemistrypage.org/es/eicosanoids-sp.php>
- [6] J.A. Aznar-Sánchez, J.F. Velasco-Muñoz, L.J. Belmonte-Ureña and F. Manzano-Agugliaro. "Innovation and technology for sustainable mining activity: A worldwide research assessment". *Journal of Cleaner Production*. Vol. 221, pp. 38-54. 2019. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.02.243.
- [7] O. Dayo-Olupona, B. Genc and M. Onifade. "Technology adoption in mining: A multi-criteria method to select emerging technology in surface mines". *Resources Policy*. Vol. 69. 2020. DOI: 10.1016/j.resourpol.2020.101879.
- [8] D.D. López-Juvinao. "Mucho más que carbón, el escenario minero de La Guajira". Primera edición. La Guajira, Colombia. 2010.
- [9] Y.E. Sánchez-Londoño y D.D. López-Juvinao. "Tecnologías limpias para la mejora de la gestión ambiental de la minería de sal en La Guajira, Colombia". *Prospectiva*. Vol. 18 N° 2, pp. 1-15. 2020. DOI: 10.15665/rp.v18i2.2374.
- [10] D.D. López Juvinao, L.M. Torres Ustate y F.O. Moya Camacho. "Tecnologías, procesos y problemática ambiental en la Minería de arcilla". *Investigación e Innovación en Ingenierías*. Vol. 8 N° 2, pp. 20-43. 2020. DOI: 10.17081/invinno.8.2.3857.
- [11] K. Polo, D.D. López y A. Henríquez. "Transferencia tecnológica para la producción limpia en la minería de materiales aluviales en La Guajira, Colombia". *Investigación e Innovación en Ingenierías*. Vol. 8 N° 1, pp. 6-20. 2020. DOI:10.17081/invinno.8.1.3535.
- [12] R. Hernández, C. Fernández y M. del P. Baptista. "Metodología de la investigación". McGraw-Hill. Sexta edición. México DF, México. ISBN: 978-1-4562-2396-0. 2014.
- [13] R. Hernández Sampieri y C.P. Mendoza Torre. "Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta". McGraw-Hill. Primera edición. Ciudad de México, México. ISBN: 978-1-4562-6096-5. 2018.
- [14] F.G. Arias. "El Proyecto de Investigación, Introducción a la metodología científica". *Episteme*. Sexta edición. Caracas, Venezuela. 2012. ISBN: 980-07-8529-9.
- [15] J. Arboleda. "Manual de evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades". Medellín, Colombia. 2008.
- [16] J.W. Creswell. "Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches". Third edition. California, USA. ISBN: 978-1-4129-6556-9. 2003.

- [17] J.S. Molléri, K. Petersen and E. Mendes. “An empirically evaluated checklist for surveys in software engineering”. *Information and Software Technology*. Vol. 119, pp. 1-21. 2020. DOI: 10.1016/j.infsof.2019.106240.
- [18] V.C. Fernandez-Vitora. “Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental”. Mundi-Prensa. Segunda edición. Madrid, España. ISBN: 9788471146977. 1995.
- [19] B.K. Gorain. “Physical Processing: Innovations in Mineral Processing”. In *Innovative Process Development in Metallurgical Industry: Concept to Commission*, pp. 9-63. 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-21599-0\_2.
- [20] M. Bustillo Revuelta. “Mineral Resources, from Exploration to Sustainability Assessment”. Springer, pp. 423-530. 2017. ISBN: 978-3-319-58760-8.
- [21] R.K. Morgan. “Environmental impact assessment: The state of the art”. *Impact Assessment and Project Appraisal*. Vol. 30 Issue 1, pp. 5-14. 2012. DOI: 10.1080/14615517.2012.661557.
- [22] K. Drayson, G. Wood and S. Thompson. “An evaluation of ecological impact assessment procedural effectiveness over time”. *Environmental Science & Policy*. Vol. 70, pp. 54-66. 2017. DOI: 10.1016/j.envsci.2017.01.003.
- [23] M. Sarupria, S.D. Manjare and M. Girap. “Environmental impact assessment studies for mining area in Goa, India, using the new approach”. *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol. 191 N° 1, pp. 1-17. 2019. DOI: 10.1007/s10661-018-7135-z.
- [24] J. Ekstrom, L. Bennun and R. Mitchell. “A cross-sector guide for implementing the Mitigation Hierarchy”. *Cross Sector Biodiversity Initiative*, pp. 10-92. 2015. URL: <http://www.csbi.org.uk/wp-content/uploads/2017/10/CSBI-Mitigation-Hierarchy-Guide.pdf>
- [25] A. Oblasser. “Estudio sobre lineamientos, incentivos y regulación para el manejo de los Pasivos Ambientales Mineros (PAM), incluyendo cierre de faenas mineras”. Cepal. ISSN: 1564-4189. 2016.
- [26] G. Hilson and V. Nayee. “Environmental management system implementation in the mining industry: A key to achieving cleaner production”. *International Journal of Mineral Processing*. Vol. 64 Issue 1, pp. 19-41. 2002. DOI: 10.1016/S0301-7516(01)00071-0.