Diseño de un sistema de monitoreo ambiental basado en KPIs para la gestión de riesgos y fortalecimiento de la competitividad en una planta de materiales de construcción

Paola Andrea Huertas Prado

Universitaria Agustiniana – Uniagustiniana

Facultad de Ingeniería

Especialización en Gestión Ambiental para el Desarrollo Sostenible

Bogotá

2026

Diseño de un sistema de monitoreo ambiental basado en KPIs para la gestión de riesgos y fortalecimiento de la competitividad en una planta de materiales de construcción

Paola Andrea Huertas Prado

Tutor: Laura Carolina Díaz

Trabajo de grado para optar al título: Especialista en gestión ambiental para el desarrollo sostenible

Universitaria Agustiniana – Uniagustiniana

Facultad de Ingeniería

Especialización en Gestión Ambiental para el Desarrollo Sostenible

Bogotá

2026

Tabla de contenido

Introducción **9**

Planteamiento del problema **11**

Formulación Del Problema **13**

Justificación **14**

Marco teórico **17**

Resultados y análisis **78**

Propuesta de mejora **80**

Conclusiones **81**

Referencias **82**

Listado de Anexos **91**

Lista de Tablas

Tabla 1 Marco legal 25

Tabla 2 Diseño metodológico 33

Tabla 3 Residuos y clasificación 39

Tabla 4 Calificación y valoración de los impactos (según: Conesa, 1997) 42

Tabla 6 Resultados impactos 46

Tabla 7 Monitoreo emisiones 2025 53

Tabla 8 Reporte RESPEL 55

Tabla 9 Formato de entrega información gestores a la autoridad ambiental 59

Tabla 10 Componente atmosférico 63

Tabla 11 Componente residuos peligrosos RESPEL 64

Tabla 12Plan estratégico (Estrategias de mejora) 66

Tabla 13 Componente RCD 70

Tabla 14 Funciones y responsabilidades 72

Lista de figuras

Figura 1 mantenimiento vehículos y maquinaria.....39

Figura 2 Cambio de aceite vehículos y maquinaria 40

Figura 3 80

Resumen

El sector de la construcción en Colombia enfrenta desafíos importantes en cuanto a la sostenibilidad, principalmente por la alta demanda de recursos naturales y las consecuencias que estas actividades generan sobre los ecosistemas (Min Ambiente, 2022). En este contexto, el presente proyecto de grado propone el diseño de un sistema de monitoreo ambiental basado en indicadores clave de desempeño (KPIs), que permita integrar y analizar la información ambiental de una planta de producción de materiales de construcción ubicada en el municipio de Madrid, Cundinamarca.

Para dar cumplimiento al objetivo del proyecto, se llevó a cabo la recolección y análisis de la información ambiental de la planta de producción de materiales de construcción correspondiente al año 2025, incluyendo registros operativos y reportes de cumplimiento normativo presentados a la autoridad ambiental, así como la evaluación de impactos ambientales. A partir de esta línea base, se estructuró el sistema de monitoreo enfocado en los componentes atmosférico (permiso de emisiones atmosféricas de la planta de producción de asfalto, residuos peligrosos (RESPEL) generados en las labores de mantenimiento de maquinaria y residuos de construcción y demolición (RCD) procesados en la planta.

Finalmente se determina que el sistema propuesto supone una herramienta que facilita el análisis de datos en condiciones reales de producción para así mismo facilitar a la gerencia la toma de decisiones. Con el fin de fortalecer la gestión ambiental, la gestión de riesgos y las medidas para llevar a la organización a aportar a la sostenibilidad, con el fin de mejorar la competitividad de la organización en los procesos de licitación y mejora de imagen corporativa. Sin embargo, su desempeño deberá evaluarse en etapas posteriores a través de su implementación práctica

Palabra clave: Monitoreo ambiental, Indicadores clave de desempeño (KPIs), sector de la construcción.

Abstract

The construction sector in Colombia faces significant sustainability challenges, primarily due to the high demand for natural resources and the impact of these activities on ecosystems (Min Ambiente, 2022). In this context, this undergraduate thesis proposes the design of an environmental monitoring system based on key performance indicators (KPIs) to integrate and analyze environmental data from a construction materials production plant located in the municipality of Madrid, Cundinamarca.

To achieve the project´s objective, environmental data from the construction materials production plant was collected and analyzed for the year 2025. This included operational records and regulatory compliance reports submitted to the environmental authority, as well as an environmental impact assessment. Based on this baseline, a monitoring system was structured focusing on atmospheric components (atmospheric emissions permit from the asphalt production plant), hazardous waste (RESPEL) generated during machinery maintenance, and construction and demolition waste (CDW) processed at the plant.

Finally, it was determined that the proposed system is a tool that facilitates data analysis under real production conditions, thus enabling management to make informed decisions. This aims to strengthen environmental management, risk management, and measures to contribute to the organization’s sustainability, thereby improving its competitiveness in bidding processes and enhancing its corporate image. However, its performance will need to be evaluated in subsequent stages through its practical implementation.

Keywords: Environmental monitoring, Key Performance indicators (KPIs), Construction sector.

Introducción

En el país la construcción supone un motor principal del desarrollo económico, debido a su aporte en la generación de empleo como por la dinamización de la economía. No obstante, las actividades asociadas a este sector ejercen presión sobre los recursos naturales, *"*en relación con el alto consumo de energía, emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera, la generación de residuos peligrosos, entre otros" (Min Ambiente, s.f.). Condiciones que evidencian la ecesidad de fortalecer los procesos de gestión ambiental empresarial, no únicamente para el cumplimiento normativo, si no desde un enfoque que sea estratégico hacia la sostenibilidad, dando cumplimiento a los "Objetivos de desarrollo sostenible" (Geoinnova, 2021).

Actualmente, muchas empresas enfrentan el reto de administrar grandes volúmenes de información ambiental proveniente de las actividades operativas y de las obligaciones establecidas por las autoridades ambientales. Sin embargo, en ocasiones esta información se encuentra dispersa en informes técnicos, reportes a autoridades ambientales, formatos operativos. Lo que limita su análisis de una manera integral (Anáhuac, 2025). Esta problemática se evidencia en la planta de producción de materiales de una empresa que construye obras civiles, ubicada en el municipio de Madrid (Cundinamarca), donde, a pesar de contar con varios instrumentos de gestión ambiental no se dispone de un procedimiento estructurado que permita valorar de manera consolidada el desempeño ambiental.

Teniendo en cuenta lo descrito, se considera relevante avanzar hacia la implementación de herramientas que permitan organizar, integrar y analizar la información disponible, de manera que sea fácil el seguimiento de las afectaciones ambientales derivadas de la operación y así

fortalecer la gestión preventiva dentro de la empresa. Bajo este enfoque, los indicadores clave de desempeño (KPIs) representan una alternativa útil para transformar la información operativa en elementos que al ser analizados apoyan la toma de decisiones y monitoreo del desempeño ambiental en la planta de producción (ADEN, 2025).

Bajo este enfoque, el presente trabajo tiene como objetivo diseñar un sistema de monitoreo ambiental basado en KPIs, que permita precisamente organizar, integrar la información ambiental de la planta, tomando como referencia los datos correspondientes al año 2025 para el establecimiento de una línea base. El sistema propuesto se enfoca en tres componentes principales: el componente atmosférico, la “gestión de residuos peligrosos” (RESPEL) y el “manejo adecuado de residuos de construcción y demolición” (RCD), considerados como los más representativos dentro de la operación de la planta de producción. No obstante, el alcance no contempla la implementación de dicho sistema de monitoreo dado el tiempo que se tiene para el desarrollo del proyecto, lo cual se plantea como una fase posterior para su validación en condiciones reales.

Planteamiento del problema

Descripción

Según datos del Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible, la construcción genera aportes al PIB superiores al 6,5% al país. No obstante, este crecimiento también implica una presión alta sobre los recursos naturales, reflejada en alto consumo de energía, generación de emisiones, ruido, consumo de materiales, etc (Min Ambiente, s.f.).

En el entorno empresarial actual, las empresas enfrentan desafíos crecientes en sostenibilidad, gestión ambiental y responsabilidad social. Por ello es fundamental para garantizar la viabilidad operativa y generar valor a largo plazo, no solo cumplir con normativas y expectativas sociales, sino que también alinear la estrategia corporativa con principios éticos y ambientales sólidos (Escobar & al, 2025).

Colombia presenta un escenario de crecimiento económico, según datos del Banco Mundial, y también es un país megadiverso en términos de ecosistemas naturales, lo que plantea la necesidad de equilibrar el sector productivo con la conservación de los ecosistemas. En consideración a que el país enfrenta desafíos asociados al cambio climático, los cuales se han manifestado como inundaciones, deslizamientos y periodos de sequía, generando impactos sobre la “economía, la salud y el bienestar de la población” (Grupo Banco Mundial, 2022).

Por ello se hace importante que la gestión ambiental empresarial esté organizada y documentada toda vez que a veces por dar cumplimiento a la normatividad se generan

varios registros e informes que aun cuando contienen información valiosa, suelen encontrarse dispersos o poco articulados dentro de un sistema de seguimiento que permita evaluar de manera integral el desempeño ambiental de las organizaciones. Por lo tanto, el objetivo que se persigue con el control de la documentación es: "establecer los controles necesarios para asegurar que los aspectos ambientales se trabajan adecuadamente" (ESG innova Group, 2015).

Actualmente en la planta de concreto, asfalto y manejo de (RCD) de la empresa se implementan varias medidas de manejo ambiental por componentes; lo que aporta un volumen significativo de información. Sin embargo, esta información se encuentra fragmentada y carece de una estructura metodológica, lo que impide obtener una visión global del desempeño ambiental en la operación.

En consecuencia, se propone el diseño "un sistema de monitoreo ambiental basado en KPIs*",* herramienta para el monitoreo de la gestión ambiental (BS Campus). Que permita organizar la información existente, medir el desempeño ambiental de la planta y fortalecer la gestión preventiva de riesgos. Con este sistema no solo se busca contribuir a mejorar los procesos internos de gestión ambiental, si no también consolidar la competitividad de la empresa en un contexto "donde la sostenibilidad se ha convertido en un diferenciador del sector de la construcción y las licitaciones" (Eurofins, 2023).

Formulación Del Problema

A partir de la información aportada se esboza la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo diseñar un sistema de monitoreo ambiental basado en indicadores clave de desempeño (KPIs) que permita integrar, analizar y mejorar el desempeño ambiental, fortaleciendo la gestión de riesgos y la competitividad de la planta de materiales de la empresa de construcción?

Justificación

Este proyecto de grado se fundamenta en la necesidad de fortalecer la sostenibilidad en el sector de la construcción, particularmente en aquellas actividades asociadas a la producción de materiales tales como asfalto y concreto, donde se generan impactos ambientales importantes sobre los ecosistemas y el uso de recursos naturales. Desde esta visión la propuesta se articula con los "Objetivos de desarrollo sostenible ODS de la agenda 2030"; específicamente en el ODS9, orientado a promover infraestructura resiliente e innovación, y el ODS 12 que habla sobre "la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales acompañado de prácticas sostenibles empresariales" (Geoinnova, 2021).

Ya que las empresas del sector deben velar por el cumplimiento normativo y además avanzar con acciones concretas hacia modelos de gestión más estratégicos, preventivos y orientados hacia la sostenibilidad (360 En Concreto).

En este sentido, en la planta de concreto, asfalto y manejo de (RCD) de la empresa de construcción de obras civiles, tales como vías, viaductos, puentes, estabilización geotécnica, entre otros. Se evidencia la toma de múltiples registros, informes técnicos presentados a la autoridad ambiental y medidas de manejo ambiental, que, aunque plantean información relevante, se encuentran dispersos y carecen de una estructura metodológica que permita su análisis integral.

Por lo tanto, el diseño de los (KPIs) constituye un instrumento fundamental de gestión estratégica, para organizar, sistematizar y analizar la información existente. Ya que, los KPIs permiten traducir datos operativos en información, facilitando la toma de decisiones basadas en evidencia, el seguimiento continuo de las afectaciones ambientales, fortaleciendo la transparencia institucional (Durán & al, 2025).

Aunado a lo anterior, este proyecto es relevante “en un entorno empresarial cada vez más competitivo, donde la sostenibilidad se ha convertido en un criterio diferenciador en procesos licitatorios y para búsqueda de inversión tanto nacional como extranjera”. Esta alineación no solo mejora la reputación de la organización si no que fortalece la confianza entre los grupos de interés (Trazable Life Cycle, 2020).

Desde el ámbito académico y profesional, este proyecto aporta al desarrollo de metodologías aplicadas a la medición del desempeño ambiental en el sector de la construcción integrando la sostenibilidad y la gestión ambiental en un contexto real. Así mismo, puede ser replicado en otras organizaciones, colaborando con la estandarización de la información ambiental y las buenas prácticas ambientales en la industria (ADEN, 2025).

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un sistema de monitoreo ambiental basado en indicadores clave de desempeño (KPIs), que permita integrar y analizar la información ambiental de la planta de producción de materiales de construcción, con el fin de fortalecer la gestión preventiva de riesgos y apoyar la toma de decisiones estratégicas, contribuyendo a mejorar la competitividad de la empresa en procesos de licitación.

Objetivos específicos

- Identificar los aspectos e impactos ambientales críticos de la planta de producción de materiales de construcción considerando su nivel de riesgo regulatorio y operativo.
- Analizar la información ambiental disponible del año 2025, de manejo de RCD, RESPEL, y emisiones atmosféricas asociadas a la producción de asfalto, para establecer la línea base del desempeño ambiental.
- Establecer un método de monitoreo ambiental basado en indicadores clave de desempeño (KPIs), definiendo su estructura, variables y métodos de cálculo.

Marco teórico

Sector de la construcción en Colombia y la gestión ambiental asociada

El desarrollo de proyectos de infraestructura representa un componente significativo para el crecimiento económico de Colombia. No obstante, las actividades asociadas a este sector también producen diferentes efectos sobre el ambiente, implicando desafíos importantes, como lograr dicho desarrollo sin generar impactos ambientales significativos sobre los ecosistemas naturales (Min Ambiente, s.f.).

Aunado a que los proyectos constructivos involucran diversos actores, desde las empresas constructoras, la comunidad aledaña a los proyectos, las autoridades ambientales que expiden las licencias y permisos, las entidades gubernamentales, proveedores, etc. Lo cual evidencia que estos proyectos van más allá que trazar una vía o levantar una edificación. Corresponden a un proceso complejo que demandan una adecuada articulación, entre variables operativas, sociales, ambientales y de arqueología.

En los últimos años se ha elevado el interés por incorporar criterios de sostenibilidad en este sector, principalmente en aspectos como la eficiencia energética, el ahorro del agua y el aprovechamiento de materiales. Sin embargo, estas iniciativas se han enfocado principalmente en el diseño y operación, dejando de lado la fase constructiva. En consecuencia, ha tomado mayor relevancia la implementación de medidas que estén orientadas al control de emisiones, adecuado manejo de residuos, protección de cuerpos de agua, “aprovechamiento de residuos de construcción y demolición (RCD)” durante la ejecución de los proyectos (Institución universitaria Colegio Mayor de Antioquia , 2010).

En Colombia han sido incorporados enfoques orientados a la sostenibilidad mediante iniciativas como el “Factor verde” propuesto por el INVIAS, que busca incentivar el uso eficiente de recursos y la aplicación de mejores prácticas ambientales en proyectos viales. Declamando principios de ética, responsabilidad ambiental, transparencia y buen gobierno, que buscan estar alineados con el Plan Nacional de Desarrollo (INVIAS, 2011).

No obstante, uno de los principales desafíos continúa siendo la gestión de la información ambiental, ya que, aunque se implementan varias medidas de manejo, la información obtenida no siempre es consolidada y revisada de forma integral y en consecuencia estas no siempre se traducen en herramientas efectivas para la toma de decisiones (Anáhuac, 2025).

Desarrollo sostenible y sostenibilidad empresarial

El concepto de desarrollo sostenible se consolidó en 1987, cuando la comisión de Brundtland definió la sostenibilidad como:

“aquello que permite satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las futuras generaciones de satisfacer sus necesidades propias”.

Desde entonces este enfoque se orientó en diferentes políticas y estrategias relacionadas con el desarrollo económico, la protección ambiental y el bienestar social de la población (Naciones Unidas).

En el ámbito corporativo, la sostenibilidad implica que los negocios además de ser económicamente viables también incorporen la gestión ambiental y social dentro de su organización. Lo que conlleva a generación de valor a largo plazo tanto para la compañía y para la sociedad. En ese sentido, se busca la minimización de impactos negativos y a la vez contribuir de forma positiva al desarrollo sostenible a través de la integración de criterios de gobernanza (ASG) (Pacto Mundial Red España).

En Colombia el sector de la infraestructura ha avanzado en la implementación de estos principios mencionados. Datos recientes indican incrementos en la aplicación de estrategias encaminadas hacia la sostenibilidad en proyectos tanto de vivienda como de construcción de vías. De igual manera certificaciones como Envision, han contribuido al fortalecimiento de metodologías para evaluar la sostenibilidad de los proyectos de infraestructura. Así, este tipo de metodologías está transformando las dinámicas de contratación, licitación y acceso a créditos internacionales (La República, 2026).

En línea con lo expuesto, la medición del desempeño ambiental mediante indicadores constituye una herramienta importante para las organizaciones ya que facilita la implementación de medidas para la mejora continua y la comunicación transparente con las partes interesadas (Anáhuac, 2025).

Indicadores clave de desempeño ambiental (KPIs)

Los indicadores ambientales suponen instrumentos para evaluar la interacción entre las actividades de una empresa y los ecosistemas que esta impacta. De manera que se pueda traducir

la información en datos concretos como el uso de agua, energía, generación de emisiones, generación y manejo de desechos, para facilitar el análisis del desempeño ambiental (Greemko, 2024).

Una ventaja competitiva de los indicadores ambientales se relaciona con la "cuantificación de evoluciones a lo largo del tiempo", factor que permite comparar resultados de diferentes periodos: "los indicadores ambientales permiten detectar rápidamente tendencias opuestas y por consiguiente también utilizarse como un sistema de alerta temprana" (ESG Innova Group, 2020).

Gestión de riesgos ambientales

Como se ha descrito, la sostenibilidad empresarial está estrechamente relacionada con la capacidad de las organizaciones en identificar y controlar las posibles afectaciones derivadas de sus actividades productivas. En este sentido, la gestión de riesgos ambientales permite: "identificar, evaluar, mitigar y monitorear los impactos negativos que las actividades empresariales pueden tener sobre los ecosistemas", al tiempo que se protege la continuidad operativa, y a la reducción de contingencias legales, financieras y de reputación frente a la comunidad (Cámara de Valencia).

En Colombia existe la ley 1523 del 2012, que articula el "Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres" (SNGRD), legislación que establece la obligatoriedad de incorporar el análisis de riesgos en proyectos que puedan generar impactos relevantes, especialmente en el caso de obras civiles. En ese sentido, se exige: "la identificación de amenazas, la evaluación de posibles afectaciones sobre infraestructura y su entorno, así como la

formulación e implementación de medidas de reducción del riesgo y planes de emergencia y contingencia" (ANDI , 2023).

La evaluación de riesgos se concentra principalmente en dos factores: "la probabilidad de ocurrencia y la magnitud de las consecuencias", siendo elementos que permiten priorizar los riesgos y definir acciones de manejo que sean adecuadas, implementando medidas tanto preventivas como de mitigación (Unir la Universidad En Internet, 2024).

Bajo este contexto, el uso de indicadores KPIs contribuye al monitoreo continuo de variables que facilita la identificación temprana de posibles situaciones que puedan representar riesgos ambientales y fortaleciendo la aplicación de medidas preventivas dentro de las organizaciones (Fominaya, 2026).

En las plantas de producción de materiales, como concreto y mezcla asfáltica, así como en actividades relacionada scon el manejo de RCD, la gestión de riesgos ambientales es fundamental debido a la generación de emisiones de material particulado, alto consumo de recursos, generación de residuos y posibles afectaciones al entorno. En este contexto la implementación de un sistema de monitoreo ambiental basado en indicadores de desempeño (KPIs) permite el seguimiento continuo a variables ambientales prioritarias para mejorar la gestión ambiental y social de la empresa.

Construcción vial y sostenibilidad ambiental

A nivel mundial, el sector de la construcción vial se reconoce por su alto impacto ambiental, ya que se consume gran cantidad de energía, se generan emisiones atmosféricas, se producen residuos y vertimientos, situación que ha impulsado la necesidad de aplicar enfoques de

sostenibilidad con el fin de promover un desarrollo más equilibrado y respetuoso con los ecosistemas (Eurofins, 2023).

La construcción sostenible se plantea como un proceso que busca tanto armonizar el entorno natural con el entorno construido, incorporando gestión ambiental, social y económica en todas las etapas de los proyectos. Lo que implica analizar aspectos relacionados con el diseño, la selección de materiales, proveedores que tengan prácticas sostenibles y el proceso constructivo como tal (Min Ambiente, s.f.).

Debido al incremento en la generación de RCD, en Colombia se han fortalecido y actualizado las normas que regulan la gestión de estos. Es por esto por lo que el gobierno expidió la Resolución 472 del 28 de febrero del 2017, modificada por la Resolución 1257 del 2021: “que promueve la valorización de estos residuos y establece los lineamientos para su adecuado manejo” (Min Ambiente, 2022).

Finalmente, la implementación de los indicadores KPIs en las plantas de producción permite evaluar el desempeño ambiental, optimización de recursos y reducción de impactos, contribuyendo al cumplimiento normativo y también al fortalecimiento competitivo (Grupo Banco Mundial, 2022).

Marco normativo

Marco Constitucional y general

El marco normativo aplicable al presente proyecto se resume en la tabla No. 1 "Marco legal" donde se relacionan las normas en materia ambiental y su vínculo con la implementación de indicadores de desempeño (KPIs) en la planta de producción de materiales de construcción:

Tabla 1
"Marco legal"

Categoría	Norma	Descripción	Aplicabilidad en el proyecto	Relación con KPIs
Marco general	"Constitución política de Colombia (Art. 79 y 80)"	"Habla sobre el derecho a un ambiente sano y la obligación del estado de proteger los recursos naturales"	Base legal que justifica la gestión ambiental en la planta de producción.	Define la necesidad de medir el desempeño ambiental
	"Ley 99 de 1993"	"Crea el Ministerio de ambiente y el SINA"	Comprende los lineamientos de la gestión ambiental en las	Sustenta la implementación de los indicadores

			organizaciones	ambientales

	“Decreto 1076 de 2015”	“(Decreto único Reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible)”	Organiza en un solo documento la normatividad ambiental aplicable	Base para dar estructura y orden a los indicadores de cumplimiento
	“Ley 1333 del 2009”	“se establece el procedimiento sancionatorio ambiental en Colombia”.	Define las sanciones por incumplimiento normativo	Base para estructurar KPIs de cumplimiento normativo
	“Decreto 2811 de 1974”	“Código nacional de recursos naturales”	Normas generales sobre la protección ambiental	Base para establecer indicadores de sostenibilidad en el uso de recursos
Emisiones	“Resolución 909	“Establece los	Aplica para las	KPIs de

atmosféricas	del 2008”	límites de emisión para fuentes fijas”	emisiones generadas por la planta sobre todo	emisiones atmosféricas

			para la producción de asfalto	
	“Resolución 2254 del 2017”	“Define estándares de calidad del aire”	corresponde al impacto ambiental de la operación	KPI de calidad de aire
	“Protocolo de control de la contaminación atmosférica”	“Define los métodos del monitoreo”	Para la medición de contaminantes	KPIs de monitoreo de emisiones atmosféricas
Residuos de construcción RCD	“Resolución 472 del 2017”	“Regula la gestión integral de RCD”	Establece obligaciones para el manejo de RCD	KPIs de generación y aprovechamiento RCD
	“Resolución 1257 del 2021”	“Modifica y fortalece la gestión de RCD”	Refuerza criterios de control y valorización	KPIs de cumplimiento

	“Ley 1259 de 2008”	“Sanciona el manejo”	Ejerce control sobre la disposición final	KPIs de cumplimiento normativo en la
		inadecuado de residuos		etapa de disposición
Residuos peligrosos (RESPEL)	“Decreto 4741 del 2005”	“Regula el manejo de residuos peligrosos”	“Define obligaciones del generador”	KPIs de generación y manejo de RESPEL
	“Decreto 1076 del 2015 (Título 6)”	“Integra todas las normas de RESPEL”	Regula la prevención y el control	KPIs de gestión integral
	“Resolución 1188 del 2003”	“Regula los aceites usados”	Aplica a residuos específicos	KPIs de manejo de residuos especiales
	“Ley 1252 del 2008”	“Prohíbe prácticas inadecuadas de RESPEL”	Control sobre los impactos ambientales	KPIs de cumplimiento legislativo de RESPEL
Sostenibilidad	“ISO 14001: 2015”	“Norma de gestión ambiental”	Marco para mejorar desempeño ambiental	KPI de desempeño ambiental

	“Estrategia Nacional de Economía circular (ENEC)”	“Promueve uso eficiente de recursos”	Aplica a aprovechamiento de residuos	KPIs de circularidad
	“Objetivos de desarrollo sostenible (ODS”)	“Agenda global de sostenibilidad”	Orienta el enfoque del proyecto	KPIs de sostenibilidad empresarial y mejora continua

Diseño metodológico

Tipo de enfoque

Para este proyecto se propone un método mixto, que combina elementos de análisis cuantitativo y cualitativo para el análisis del desempeño ambiental de la planta de producción de asfalto y concreto. Este enfoque permite complementar la interpretación de los fenómenos ambientales con información medible, facilitando un análisis más integral del contexto de la organización (Medina & al, 2023).

Con respecto al enfoque cualitativo se empleará en la "identificación y análisis de los impactos ambientales", así como la revisión de la normatividad aplicable y de los instrumentos de manejo ambiental que actualmente se encuentra implementando la empresa. Este componente permite entender el contexto tanto operativo como ambiental de la empresa y en ese sentido se priorizarán los riesgos.

Por otra parte, el enfoque cuantitativo se utiliza en la formulación y análisis de los KPIs, a partir de datos recolectados en el periodo 2025, relacionados con variables como: "consumo de recursos, generación de residuos, manejo de RCD con enfoque de economía circular, emisiones atmosféricas y cumplimiento de parámetros ambientales". Se busca con este criterio medir el comportamiento ambiental de la planta y evaluar el desempeño de una forma objetiva.

Población

Con respecto a la población del estudio se plantean los procesos, actividades y registros que se tienen de la gestión ambiental llevada a cabo en la planta de producción, que incluye los mencionados procesos de concreto, mezclas asfálticas y manejo de RCD.

Incluyendo así la información documental generada durante el periodo del 2025, como reportes del monitoreo de emisiones, registros de consumo de recursos, informes de cumplimiento normativo presentados a las autoridades ambientales o entidades contratantes y demás instrumentos técnicos disponibles.

Muestra y técnica de muestreo

Como se ha abordado, la muestra se constituye por los registros e información operativa y ambiental del periodo enero a diciembre del año 2025, que serán seleccionados por su importancia para el análisis del desempeño ambiental.

Para la selección de la información se emplea un muestreo intencional, en el cual se priorizan los datos que resultan más representativos en relación con los impactos ambientales (EXPLORABLE).

Recolección de datos

A continuación, se describe el proceso llevado a cabo para la recolección de datos:

Revisión documental:

Se realiza el análisis de los documentos disponibles en la empresa desarrollados por el departamento de: Gestión ambiental, sostenibilidad, social y arqueología; incluyendo informes de gestión ambiental presentados a las autoridades ambientales o contratantes.

Reportes del monitoreo de emisiones atmosféricas llevado a cabo en la planta de mezcla asfáltica, permisos ambientales y demás información que se considere relevante según lo mencionado en el ítem anterior.

Análisis de datos históricos:

Se organiza y analiza la información cuantitativa del año 2025, para establecer una línea base y evaluar el comportamiento de las variables ambientales.

Matrices de análisis ambiental:

Se utilizan matrices para “identificar y valorar impactos ambientales”, así mismo para priorizar los riesgos, considerando criterios como frecuencia, severidad y cumplimiento normativo.

Diseño de los indicadores KPIs:

Como resultado del análisis de los anteriores ítems se proponen los indicadores clave de desempeño ambiental, definiendo la fórmula, unidad de medida, frecuencia de seguimiento y fuente de información (ADEN, 2025).

Tabla 2

"Diseño metodológico"

Objetivo específico	**Actividad**	**Técnica**	**Instrumento**	**Resultado esperado**
"Identificar los aspectos e impactos ambientales críticos"	Revisión de procesos y revisión documental de la gestión ambiental llevada a cabo en la planta	Revisión documental	Matriz de impactos ambientales	Identificación y priorización de impactos ambientales
Analizar la información ambiental disponible del año 2025 para establecer la línea base del desempeño ambiental	Compilación y análisis de información disponible para el año 2025	Análisis de datos	Documentos ambientales, informes, monitoreo de emisiones	la línea base

Diseñar el sistema de monitoreo ambiental basado en indicadores clave de desempeño (KPIs), definiendo su estructura, variables y métodos de cálculo.	Formulación de KPIs	Análisis comparativo	Matriz de resultados	KPIs de seguimiento y monitoreo al desempeño ambiental que incluye estructura, flujo de información, frecuencia, responsables y mecanismos de seguimiento.

Fuente: Elaboración propia

Desarrollo del estudio

Descripción del área de estudio

La empresa del presente estudio: “está dedicada a brindar soluciones innovadoras de ingeniería en diseños, construcción y financiación para la infraestructura y el desarrollo vial del país, comprometida con la sociedad y el medio ambiente”, integra dentro de sus actividades la elaboración de mezcla asfáltica, concretos, y la trituración y clasificación de materiales (MHC, 2024).

En ese marco, y ante la ejecución de diversos proyectos a nivel nacional, incluyendo el departamento de Cundinamarca, se ha hecho necesaria la implementación de Centros de Mantenimiento, Operación y Producción, en los cuales se elaboran mezclas asfálticas, concretos y se transforman materiales que posteriormente son suministrados a las obras.

Particularmente, la planta de producción de Cundinamarca se ubica en el kilómetro 12, vereda La Punta, del municipio de Madrid (Cundinamarca), sobre la Autopista Medellín. Esta planta ha sido identificada como una unidad estratégica en la gestión ambiental, y por tanto allí se lleva a cabo la implementación del proceso de aprovechamiento de (RCD). Dando cumplimiento a la “Resolución 0472 del 2017, y la Resolución 1257 del 2021”.

Para este proceso se emplea una trituradora que consta de una Tolva, bandas transportadoras, una zaranda, un cono y una muela, al proceso ingresa material para su trituración, este material se transporta en volquetas y es descargado en el centro de acopio del material procesado. Esta trituradora tiene una capacidad de 200 Ton/hora (MHC, 2024).

Adicionalmente en el centro se produce mezcla asfáltica para lo cual la empresa cuenta con Resolución emitida por la CAR que: “otorgó permiso de emisiones atmosféricas para fuentes fijas”, con capacidad nominal de 200 Ton/hora, que da cumplimiento a la Resolución 909 del 2008; y que se renueva cada cinco (5) años dando cumplimiento al artículo “2.2.5.1.7.14 del Decreto único ambiental 1076 del 2015”.

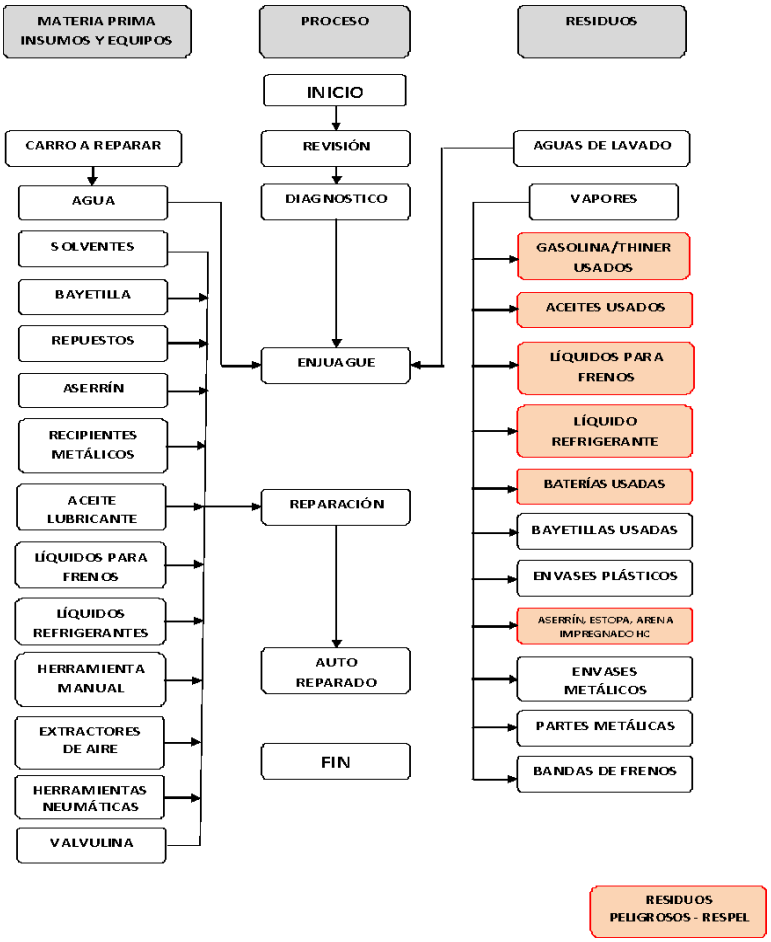
Así mismo, en cumplimiento de la normatividad colombiana la planta cuenta con un “Plan de Gestión Integral de Residuos o Desechos peligrosos (PGIRS)” dando cumplimiento al “Decreto No. 4741 del 30 de diciembre del 2005 emitido por el MADS” que: “Reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral” (MHC, 2024).

Ya que, en la planta, se reciben y reparan equipos utilizados en obras civiles (MHC, 2024). Estas actividades generan materiales reciclables y residuos peligrosos. Aunque la compañía implementa estrategias de reciclaje para los primeros, los residuos peligrosos (RESPEL) requieren una gestión diferenciada mediante gestores autorizados dando cumplimiento a la norma.

A continuación, se incluye un diagrama de flujo del mantenimiento de vehículos y equipos:

Figura 1

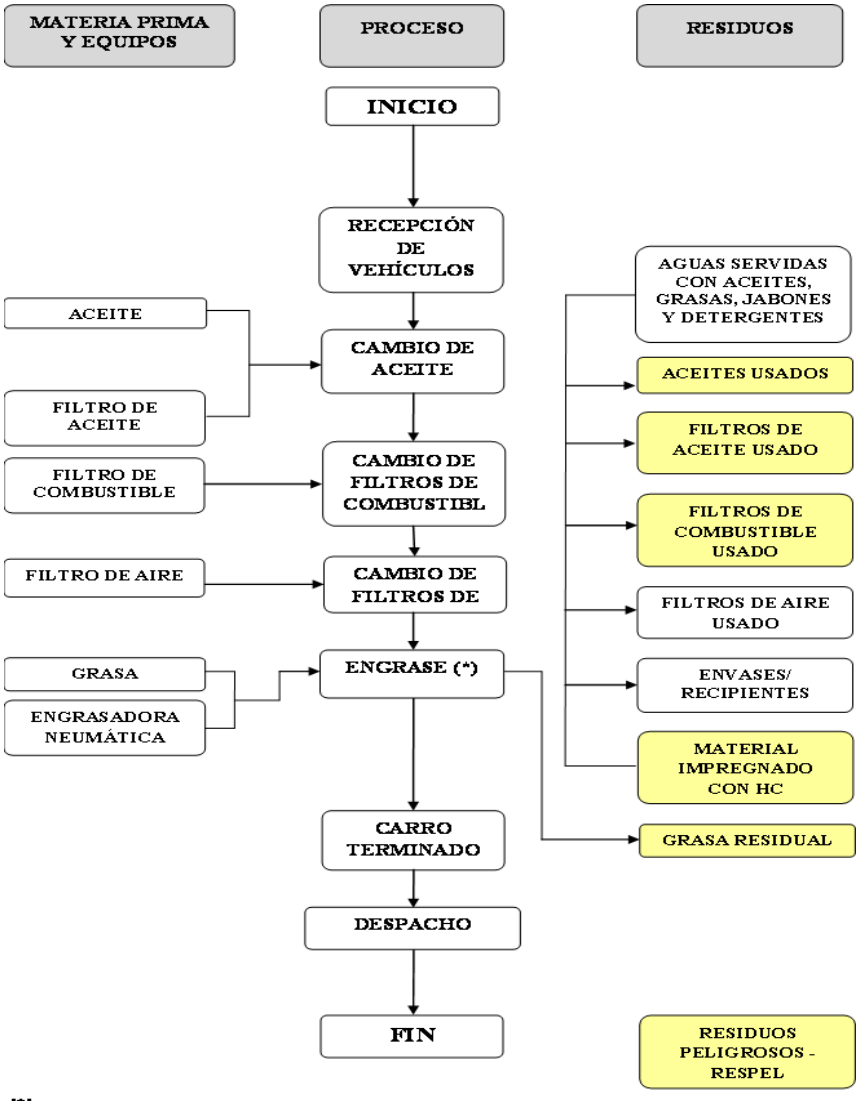
Mantenimiento vehículos y maquinaria



Fuente: (MHC, 2024).

Figura 2

Cambio de aceite vehículos y maquinaria



Fuente: (MHC, 2024).

De acuerdo con la metodología contenida en el decreto 4741 de 2005, los residuos pueden ser identificados como peligrosos a través de los Anexos I y II de la misma norma. Para el caso de la planta se utilizó inicialmente el listado del Anexo I.

Para los otros residuos generados en áreas de soporte, mantenimiento y administración se usó el anexo II los cuales reciben otra codificación. Ver la tabla No. 4 con los residuos y su clasificación.

La identificación de los RESPEL se realizó en las diferentes áreas identificadas en el diagrama de flujo anterior y el nombre del RESPEL obedece a la identificación original del producto o materia prima que da origen al mismo.

Tabla 3
"Residuos y clasificación"

Tipo de residuo	Descripción
Ordinarios	Servilletas
	Papel higiénico
	Residuos de comida
	Material de limpieza y barrido
	Icopor
	Residuos de emulsión
	Cloruro de metileno
	Luminarias
	Filtros contaminados con aceite

Peligrosos RESPEL	Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos-RAEES
	Tonner y cartuchos de impresión
	Elementos de protección personal contaminados
	Aceite usado
	Baterías ácido plomo
	Pilas alcalinas
	Material contaminado con pinturas
	Material contaminado con hidrocarburos
	Borras/ aguas con hidrocarburos
Aprovechables	Papel/archivo
	Cartón
	Vidrio
	Botellas plásticas
	Chatarra/ residuos de soldadura
	Llantas usadas
	Tapas plásticas
	Bolsas de cemento
	Lodos de casa de bolsas
	Carpas térmicas
	Filtros de aire (limpios)

Aprovechables	Plástico (maletines y señalización)
	Material vegetal de poda
	Muestras de concreto
	Muestras de asfalto/rechazo de mezcla asfáltica
	PVC (programa reciclaje Pavco)
Líquidos	Agua de escorrentía de cunetas perimetrales
	Agua residual pozos sépticos
	Agua con sedimentos resultante de laboratorios
	Agua con químicos resultante de laboratorios (RESPEL)

Fuente: (MHC, 2024).

Por otra parte, la planta también cuenta con la formulación de:"un plan de gestión de riesgos de desastres (PGRD) que da cumplimiento al Decreto 2157 del 2017, el cual incluye la identificación de riesgos, medidas de reducción y preparación para la respuesta y un plan de contingencias" (MHC, 2026).

Identificación de impactos ambientales

La evaluación de impactos ambientales consiste en: "asignar valores cuantitativos o cualitativos, positivos o negativos a los impactos en función del grado con el cual modificarían la calidad ambiental. Siendo así como la valoración ambiental implica la comparación entre los impactos sin proyecto versus con proyecto" (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2018).

Para el presente documento se analizarán los impactos bajo la metodología de Conesa, que es una herramienta útil donde se comparan las actividades del proyecto versus los factores ambientales. Así las celdas de matriz permiten mostrar un impacto potencial que se evalúa según algunos criterios de evaluación, "Por ejemplo, un impacto de gran magnitud, amplia extensión, larga duración y alta irreversibilidad tendrá un valor de importancia elevado, lo que indica que requiere medidas de mitigación urgentes" (Green Progress).

Estructura de la matriz Conesa

Ver la tabla No. 4 donde se presentan los valores y criterios para la EIA:

Tabla 4
"Calificación y valoración de los impactos (según: Conesa, 1997)"

Criterio	Calificación	Valor
Carácter (ca)	Positivo	(+)
	Negativo	(-)
Cobertura o área de influencia (co)	Puntual	1
	Local	4
	Regional	8
Magnitud (mg)	Baja	1
	Media	4
	Alta	8
Duración	Fugaz	1

Criterio	Calificación	Valor
(dr)	Temporal	4
	Pertinaz	8
	Permanente	12
Resiliencia O reversibilidad (rs)	A corto plazo	1
	A mediano plazo	4
	A largo plazo	8
	Irreversible	12
Recuperabilidad (re)	A corto plazo	1
	A mediano plazo	2
	Mitigable	4
	Irrecuperable	8
	Irrecuperable con aplicación de medidas compensatorias	4
Periodicidad (pe)	Irregular o discontinuo	1
	Periódico	2
	Continuo	4
Tendencia (td)	Simple	1
	Acumulativo	2
Tipo	Indirecto	1

Criterio	Calificación	Valor
(ti)	Directo	2
Probabilidad de Ocurrencia (po)	Baja	1
	Media	4
	Alta	8
Importancia I=ca(3mg+2co+dr+rs+re+pe+td+ti+po)	Carácter negativo	
	Irrelevante	<-25
	Moderado	-25 a <-50
	Severo	-50 a -75
	Critico	>-75
	Carácter positivo	
	Poco importante	<+25
	Importante	+25 a +50
	Muy importante	>+50

A partir de estos valores mínimo y máximo, se establecen rangos de valores que corresponden a los diferentes tipos de importancia, tanto para los impactos de carácter negativo como para los positivos (González, 2019).

Ver Anexo 1: Matriz de valoración de impactos.

Evaluación de significancia

Teniendo en cuenta los resultados derivados a través de la calificación de la matriz según Conesa (ver anexo 1), los impactos ambientales negativos que tuvieron puntuación de categoría moderada son:

Tabla 6
"Resultados impactos"

Componente del ambiente	**Impactos ambientales y actividad relacionada**
Suelo	- "Cambio en la estructura del suelo por el transporte de materiales, maquinaria y equipos". - "Cambio en la estructura del suelo por operación de plantas fijas" - "Posible afectación del suelo por la generación de residuos RESPEL"

	- "Cambio en la estructura del suelo por el manejo de RCD (acopios)"
Aire	- "Cambios en la concentración de material particulado y en la emisión de gases por el transporte de maquinaria, equipos y materiales". - "Cambios en la emisión de gases contaminantes por la operación de plantas fijas" - "Cambio en la concentración de material particulado por el manejo y

	procesamiento de RCD”
Agua	- “Alteraciones en los patrones de drenaje superficial por: las áreas de mantenimiento de maquinaria, operación de plantas fijas y manejo de RCD”

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, se considera que ninguno de los impactos ambientales dio puntuación severa, ya que están controlados y se cumplen los estándares de las normas de calidad del aire, manejo de RCD y generación de RESPEL.

Con respecto a los impactos positivos se tiene: cambio en la dinámica de empleo, toda vez que la planta contrata mano de obra calificada y no calificada de la zona de influencia.

Análisis de la información ambiental (línea base 2025)

A partir de los resultados obtenidos de la matriz de evaluación de impactos ambientales se identificó que, con relación a la producción de asfalto, las atmosféricas

constituyen uno de los aspectos ambientales más notables, debido a la operación de fuentes fijas asociadas al proceso de calentamiento y mezclado. La información disponible evidencia la necesidad de fortalecer el seguimiento a los parámetros “como material particulado y gases de combustión”, considerando el cumplimiento del permiso de emisiones atmosféricas otorgado por la autoridad ambiental y el riesgo regulatorio asociado.

Con respecto al manejo de RCD, el análisis evidencia que la generación está directamente vinculada a las actividades de recepción, clasificación y transformación de los materiales. Se logró identificar medidas que permiten la mejora en el orden de los acopios, el control de material particulado y el aumento en los niveles de aprovechamiento, lo cual resulta clave para optimizar el desempeño ambienta y reducir los impactos sobre el suelo y la calidad del aire (MHC, 2024).

Con respecto a la generación de RESPEL, estos se originan especialmente en las actividades de mantenimiento de maquinaria, incluyendo aceites usados, filtros y materiales contaminados. La información analizada permite evidenciar la importancia de fortalecer los controles de almacenamiento y disposición final, con el fin de minimizar riesgos de contaminación y asegurar el cumplimiento de las normas (MHC, 2024).

En ese sentido, la evaluación del desempeño ambiental evidencia que estos tres componentes concentran los principales retos de la gestión ambiental de la planta, tanto por su impacto ambiental potencial como por la relación directa que estos tienen con la normatividad

colombiana. En ese sentido se hace necesaria la implementación de un sistema estructurado basado en (KPIs), para mejorar el control operativo y la gestión preventiva de riesgos.

Fuentes de información

La información que se utilizó para el análisis del desempeño ambiental correspondiente al año 2025 fue recopilada a partir de instrumentos de gestión, registros operativos y reportes de cumplimiento normativo generados por el departamento de gestión ambiental de la empresa.

Entre estas fuentes se encuentran:

“Plan de gestión de residuos sólidos (PGIRS)”: siendo el documento que: “establece los lineamientos para la gestión integral de residuos generados en la planta”, que incluye las estrategias de reducción, aprovechamiento y disposición final con proveedores autorizados.

“Plan de manejo de residuos de construcción y demolición (RCD)”: documento que: “define las acciones encaminadas al manejo y adecuada gestión de los RCD, desde la generación hasta el aprovechamiento”.

“Registro de cantidades de RCD procesados”: Esta información se consolida y reporta a la CAR de manera trimestral, que tiene como objetivo reportar el volumen de residuos gestionados en cumplimiento a la Resolución 0472 del 2017 y la Resolución 1257 del 2021.

“Plan de gestión del riesgo”: documento que identifica, evalúa y establece las medidas de manejo frente a los riesgos tanto operacionales como ambientales asociados a las actividades de la planta.

Monitoreos de emisiones atmosféricas: Es el informe que se radica ante la CAR anualmente que contiene los resultados de las mediciones atmosféricas realizadas a la planta de asfalto (fuente fija), que incluye los parámetros como material particulado y gases de combustión.

"Reporte anual de residuos peligrosos (RESPEL)": La información de entrega de desechos peligrosos se consolida en un formato denominado F339 mensualmente y luego se organiza y consolida tanto la información como los certificados aportados por los proveedores autorizados mediante permisos ambientales, para generar el reporte ante la plataforma RUA del IDEAM.

Registros de capacitaciones ambientales al personal de la planta: Se lleva registro del formato denominado F016 de las capacitaciones mensuales en los diferentes temas ambientales, que se realizan al personal operativo y administrativo, encaminadas a sensibilizar sobre las medidas de manejo y uso de recursos naturales.

Se considera que la integración de estas fuentes permite contar con una base importante del desempeño ambiental de la planta durante el año 2025, facilitando la identificación de aspectos críticos y la formulación de los indicadores de seguimiento.

Análisis por componente ambiental

Análisis del componente atmosférico- Planta de asfalto

El componente atmosférico de la planta de producción de asfalto se asocia a las emisiones generadas por los procesos de combustión y calentamiento de agregados en la planta de asfalto y la caldera.

Los gases contaminantes evaluados para dar cumplimiento al permiso de emisiones otorgado por la CAR son:

- Material Particulado – MP
- SO2
- Nox

Fuente de información utilizada

- Informes de monitoreo de emisiones atmosféricas año 2025
- Resolución del permiso de emisiones otorgado por la CAR
- “Límites permisibles establecidos en la normativa vigente (Resolución 909 de 2008)”.

Análisis de resultados

Se presenta la Tabla No. 7 que contiene el resumen de condiciones de operación, la carga o flujo másico y la composición de fases en las chimeneas, datos obtenidos durante el muestreo:

Tabla 7

"Monitoreo emisiones 2025"

Descripción	Unidades	Ccr	Incert. (U)	Resolución 909/2008	Cumplimiento	Proporción respecto a la norma
PLANTA DE ASFALTO						
Concentración de MP	mg/m^3	76,2314	*±15,7494*	150	Cumple	50,82% respecto a la norma
Flujo másico promedio	kg/h	4,0294	--	--	--	--
Concentración de NOx	mg/m^3	262,2861	*±56,6604*	550	Cumple	47,68% respecto a la norma
Flujo másico promedio	kg/h	13,7579	--	--	--	--
Concentración de SO_2	mg/m^3	238,1138	*±54,5756*	550	Cumple	43,29% respecto a la norma
Flujo másico promedio	kg/h	12,5851	--	--	--	--
CALDERA						
Concentración de NOx	mg/m3	108,1496	*±22,5383*	350	Cumple	30,89% respecto a la norma
Flujo másico promedio	kg/h	0,0617	--	--	--	--

Fuente: (Comnambiente SAS, 2025).

Los resultados obtenidos evidencian el cumplimiento de los "límites establecidos en la Resolución 909 del 2008" para todos los parámetros medidos.

En particular, "el material particulado MP presenta una concentración de 76.2 mg/m3 valor que se encuentra significativamente por debajo del límite permisible de 150 mg/m3, lo que indica un buen desempeño del sistema de control de emisiones y que la planta está operando

dentro de condiciones ambientalmente controladas". En ese sentido, no se evidencian riesgos inmediatos de incumplimiento normativo.

Sin embargo, aun cuando la planta está cumpliendo con los límites establecidos en la norma mencionada, si existen riesgos asociados a las variaciones en la operación de la planta y el funcionamiento de los sistemas de control de emisiones, por lo tanto, es necesario implementar herramientas de seguimiento continuo.

Análisis del componente residuos peligrosos (RESPEL)

Se generan residuos peligrosos asociados al:

- Mantenimiento de maquinaria y equipos
- Uso de aceites, grasas y combustibles
- Manejo de sustancias químicas

Los cuales requieren un manejo diferenciado debido a sus características de peligrosidad (MHC, 2024).

Fuentes de información:

- Formato No. 339 (registro mensual de generación de RESPEL)
- Certificados de disposición de gestores autorizados
- Reporte anual en plataforma RUA (IDEAM)

Análisis de desempeño ambiental:

Se presenta la Tabla 8 con los totales de cada corriente de RESPEL del año 2025 presentado en el formato F339 mencionado, reporte que se realizó mediante el sistema RUA:

Tabla 8

"Reporte RESPEL"

	Cloruro de metileno	**Material contaminado (Mangueras y material contamiando con hidrocarburos trapos estopas, epps)**	**Aceite usado**	**Baterías usadas para la flota de vehículos**	**RAEES +Tonners**	**Filtros usados**	
	Y6 kg	**A4060**	**8 kg**	**A1160 kg**	**A1180 kg**	**A3020 kg**	**Total mes**
Enero		**1020**	**920**				**1940,000**
Febrero	1040		2000				**3040,000**
Marzo	1040	1532					**2572,000**
Abril				1451		508	**1959,000**
Mayo		1310	1500			450	**3260,000**

Junio							**0,000**
Julio	1200	1100				510	**2810,000**
Agosto		1155		864		215	**2234,000**
Septiembre			1500				**1500,000**
Octubre				708			**708,000**
Noviembre		2160				506	**2666,000**
Diciembre							**0,000**
Total corriente	**3280**	**8277**	**5920,00**	**3023**	**0,0**	**2189**	**22689,00**

Fuente: (MHC, 2025).

Como se observa en la información recolectada mes a mes, la mayor cantidad de generación de RESPEL se concentra en aceites usados y materiales contaminados con hidrocarburos, asociados a las actividades de mantenimiento de equipos. Que son entregados a un gestor autorizado, cuya disposición final se realiza en celda de seguridad en relleno sanitario para los materiales contaminados y para el aceite usado, el proveedor realiza un proceso de sedimentación, filtración y centrifugación.

Bajo esta condición: “el aceite entregado deja de ser un residuo para convertirse en materia prima óptima para otros procesos” (RECIPROIL, 2025).

Con respecto al cloruro de metileno utilizado en los ensayos de laboratorio de las muestras de mezcla asfáltica y concreto, el proveedor autorizado: “realiza la recuperación del solvente por proceso de destilación, dejando de ser un residuo” (Industrias Químicas FIQ SAS, 2025).

Por su parte, los filtros de aceite proveniente de la maquinaria dejan de ser un residuo, ya que el proveedor realiza un proceso de drenaje del aceite, seguido de una compactación y por último secado. Una vez almacenados son enviados para ser utilizados como chatarra común, convirtiéndose en materia prima óptima para otros procesos (RECIPROIL LTDA, 2025).

Las baterías usadas se entregan a un proveedor que realiza el reciclaje de estas, primero se rompen mecánicamente, luego se realiza separación de componentes principales: plomo, plástico y electrolito. Donde cada uno de estos se transforma: “para convertirse en materia prima para otros procesos y en ese sentido se puede recuperar hasta 99% de los materiales de una batería plomo- ácido” (CLARIOS ANDINA S.A.S, 2025).

Con respecto a los riesgos identificados para el manejo de RESPEL se asocian al manejo y almacenamiento temporal de éstos, así como a la dependencia de gestores externos, lo cual podría generar impactos ambientales en caso de fallas en la gestión.

Análisis del componente RCD

En la planta se realiza manejo de RCD que provienen principalmente de: “productos de excavación y sobrantes de adecuación de terrenos tales como, tierras, limos, arcillas, materiales pétreos naturales (no contaminados). Productos de cimentaciones, sobrantes de pilotajes, excavaciones profundas y nivelaciones. Arcillas estructurales y materiales estabilizados no contaminados”.

Materiales pétreos reutilizables tales como: “hormigón simple o armado, arenas, gravas, gravillas, cantos rodados. Pétreos asfálticos incluyendo mezcla asfáltica fresada, sobrantes de mezcla de cementos, concretos hidráulicos y morteros” (MHC, 2024).

Información tomada de:

- Plan de manejo de RCD
- Registros de cantidades procesadas (reportes trimestrales a la CAR)
- Información operativa de la planta

Análisis de desempeño ambiental:

Se presenta la Tabla 9, con la información reportada a la CAR de la cantidad de RCD manejado en la planta en cumplimiento a la normatividad colombiana:

Tabla 9
Formato de entrega información gestores a la autoridad ambiental

Cantidades de RCD recibidos por tipo	
Tipo de Residuo	**Cantidad de RCD (t)**

	Aprovechamiento	**Disposición final**
"1. Residuos de construcción y demolición - RCD susceptibles de aprovechamiento":		
"1.1 Productos de excavación y sobrantes de la adecuación del terreno: coberturas vegetales, tierras, limos y materiales pétreos productos de la excavación, entre otros".		
"1.2 Productos de cimentaciones y pilotajes: arcillas, bentonitas y demás".		
"1.3 Pétreos: hormigón, arenas, gravas, gravillas, cantos, pétreos asfalticos, trozos de ladrillos y bloques, cerámicas, sobrantes de mezcla de cementos y concretos hidráulicos, entre otros".	3.232,16 Ton	0
"1.4 No pétreos: vidrio, metales como acero, hierro, cobre, aluminio, con o sin recubrimiento de zinc o		

estaño, plásticos tales como: PVC, polietileno, policarbonato, acrílico, espumas de poliestireno y de poliuretano, gomas y cauchos, madera y compuestos de madera, cartón-yeso (drywall), entre otros".		
"2. Residuos de construcción y demolición - RCD no susceptibles de aprovechamiento":		
"2.1 Los contaminados con residuos peligrosos".		
"2.2. Los que por su estado no pueden ser aprovechados".		
"2.3 Los que tengan características de peligrosidad, estos se regirán por la normatividad ambiental especial establecida para su gestión".		
Total, RCD recibidos (t)	3.232,16 Ton	
Período de reporte de RCD	2025	

Fuente: (MHC, 2025).

Como se observa en la información reportada durante el año 2025 la planta registró el procesamiento de 3232,16 Toneladas de RCD, correspondientes principalmente a materiales de naturaleza pétrea. Constituyendo uno de los flujos de residuos más representativos dentro de la operación, lo cual resalta la importancia de su adecuada gestión y seguimiento.

Desde el punto de vista de desempeño ambiental, se puede indicar que la planta cuenta con un control adecuado sobre las cantidades de RCD procesadas, en la medida que esta información se registra y se reporta trimestralmente a la autoridad ambiental, dando cumplimiento a la normatividad vigente.

De acuerdo con datos aportados por Min Ambiente, con respecto al manejo de RCD y economía circular en Colombia diversas empresas del sector construcción están implementando la sostenibilidad como un pilar, promoviendo la reducción de residuos y el aprovechamiento de materiales reciclados. Estas iniciativas evidencian avances hacia modelos de negocio circulares, los cuales no solo contribuyen a la mitigación de impactos ambientales, sino que también generan beneficios en términos financieros, sociales y de gobernanza, destacando la importancia de fortalecer y visibilizar estas prácticas en el país (Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible, 2025).

Diseño del sistema de monitoreo ambiental basado en

KPIs Enfoque del sistema de monitoreo

Se propone un sistema que integre la información proveniente de los diferentes componentes de la planta antes mencionados, a través del uso de (KPIs), que permitan evaluar de manera continua el desempeño ambiental de la planta de producción.

Este sistema se formula para fortalecer la gestión preventiva de riesgos y mejorar el desempeño ambiental, yendo más allá del cumplimiento normativo, hacia un modelo de retroalimentación y así mismo una mejora continua y el cumplimiento a la sostenibilidad.

Estructura del sistema de monitoreo

Siguiendo con los temas escogidos anteriormente el sistema de monitoreo propuesto se estructura en cuatro componentes:

- Atmosférico
- Residuos peligrosos RESPEL
- RCD

Los datos que alimentan los indicadores, tales como:

- Concentración de emisiones
- Cantidad de residuos generados (kg o Ton)
- Cantidad de residuos aprovechados
- Frecuencia de la gestión o disposición

Las herramientas de gestión seguirán siendo los registros operativos, los reportes realizados ante las autoridades ambientales y las bases de datos compiladas y organizadas.

Definición de los KPIs por componente ambiental

A continuación, se presentan los indicadores propuestos por componente:

Tabla 10

"Componente atmosférico"

Indicador	**Ecuación**	**unidad**	**Frecuencia**	**Observaciones**
Concentración de MP, SO2 y NOx	Resultado del monitoreo	mg/ Nm3	Anual	Busca evaluar las emisiones atmosféricas de la planta de asfalto en cumplimiento al permiso de emisiones otorgado por la CAR
% cumplimiento normativo	(valor medido / límite) X 100	%	Anual	<100%: Cumple
Margen frente al límite	((Límite- valor/ límite) X 100	%	Anual	Entre mayor sea el porcentaje mejor el resultado

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11
"Componente residuos peligrosos RESPEL"

Indicador	**Ecuación**	**unidad**	**Frecuencia**	**Observaciones**
Generación de RESPEL (por corriente)	Total, mensual	Kg/mes	Mensual	Busca controlar cuanto se está generando por corriente mes a mes
Generación específica	Kg RESPEL/ ton producido	Kg/ton	mensual	Busca analizar frente a toda la generación de residuos de la planta cuanto porcentaje corresponde a RESPEL
% gestión con soporte	(kg con certificado/ total) X100	%	mensual	Busca llevar la trazabilidad y evaluar el control y cumplimiento normativo

Tiempo promedio de almacenamiento	# días de almacenamiento/ número de entregas	días	mensual	Tiene en cuenta el riesgo del almacenamiento prolongado
Reducción de RESPEL	((año base- año actual) / (año base) X 100	%	Anual	Evalúa mejora en la minimización de generación de RESPEL
Eventos asociados a RESPEL	Número de incidentes (derrames, fugas, etc)	# de eventos	Mensual	"Mide el riesgo operativo y está alineado con el plan de contingencias y gestión del riesgo de la planta de producción"

Fuente: Elaboración propia

A continuación, habiendo relacionado los KPIs para el monitoreo ambiental y con el fin de ir más allá en la implementación de medidas para lograr una mejora con respecto a la generación de RESPEL, se propone a continuación un plan estratégico para implementar

mejoras, con metas al 2030 enfocadas en la reducción desde la fuente y acciones encaminadas a la sostenibilidad:

Tabla 12

"Plan estratégico (Estrategias de mejora)"

Estrategias De Mejora	**Objetivos Estratégicos**	**Metas A 2030 (Medibles)**	**Indicadores**	**Acciones**
Implementar programas de minimización en la fuente (uso de materiales menos tóxicos) Fortalecer los programas de educación ambiental para los trabajadores (específicamente en las áreas donde se están generando RESPEL	Diseñar estrategias de prevención y minimización para los RESPEL prioritarios de mayor generación y/o peligrosidad.	Para los RESPEL, proponer estrategias de minimización que permitan su cuantificación y verificación a través del sistema de seguimiento y control. Sustituyendo sustancias contaminantes por unas biodegradables o	(cantidad de materiales peligrosos sustituidos/ cantidad total de materiales) x 100: % frecuencia: anual (número de trabajadores encargados del mantenimiento y maquinaria capacitados en educación	Realizar un diagnóstico más completo de los insumos que se están utilizando en las actividades de mantenimiento de equipos y maquinaria (aceites, solventes, etc) Identificar alternativas menos tóxicas en el mercado para solicitar su

producto del mantenimiento de maquinaria y equipos). Establecer convenios con gestores de residuos que dentro de sus prácticas den prioridad a los procesos de reciclaje (ej: los filtros de aceite, hay partes que son reciclables) (MHC, 2024)		ambientalmente sostenibles. Implementar las medidas de manejo seguro de RESPEL dentro de las instalaciones del CMOP. Fortalecer los programas de sensibilización ambiental	ambiental / número total de trabajadores) x 100: % (mensual) (Cantidad de residuos reciclados por gestores autorizados / cantidad total de residuos entregados a gestores) x 100: % (trimestral).	compra al departamento de compras. En línea con lo anterior, comenzar a transicionar en el uso de sustancias biodegradables a medida que los costos lo permitan. Incluir en los planes de capacitación estrategias para la disminución de residuos, correcta separación en la fuente y mejores

				prácticas (consumo responsable) buscando disminuir el uso de grasas, solventes etc y la generación de residuos peligrosos desde la fuente. Identificar gestores autorizados que cuenten con certificaciones en procesos de reciclaje verificados.
Crear un pretratamiento	Optimizar la gestión de	Implementar al menos un	(Número de sistemas	Seleccionar los residuos a los que

de residuos que reduzca costos de disposición (ej: sacar el aceite de los filtros de aceite, limpiarlos y entregarlos para reciclaje).	residuos peligrosos y especiales a través de tratamientos desde la fuente, para disminuir costos de disposición final y aumentar aprovechamiento de partes reciclables.	sistema de pretratamiento (ej: drenado de aceite y limpieza de los filtros) Para reducir en al menos un 15% los costos de disposición de residuos en dos años.	implementados / Números de sistemas planificados) x 100 (costo de disposición año 2025- costo de disposición año 2026) / costo disposición año 2025 x 100: %	se les puede aplicar un pretratamiento de limpieza. Adquirir un equipo para lavar estos implementos. "Entrenar al personal en las técnicas mencionadas y en el manejo integral de los residuos resultantes".

Fuente: Elaboración propia

A través de la ejecución de las labores propuestas en la Tabla 10, se proyecta alcanzar resultados medibles en el mediano plazo, entre ellos: una reducción del 15% en los costos de disposición final de desechos peligrosos gracias a una aplicación de pretratamientos de limpieza para materiales susceptibles de ser reciclados; la sustitución progresiva del 30% de insumos

tóxicos por alternativas biodegradables, según lo permitan los costos; y la capacitación de al menos el 90% de los trabajadores en educación ambiental y prácticas de consumo responsable, priorizando a quienes realizan labores de mantenimiento de maquinaria y equipos, que es donde más RESPEL se generan.

Tabla 13 "Componente RCD"

Indicador	**Ecuación**	**unidad**	**Frecuencia**	**Observaciones**
RCD acopiados	RCD procesados	Ton/mes	trimestral	Control volumen total
% aprovechamiento	(RCD aprovechados/ RCD totales) X 100	%	trimestral	Con el fin de medir economía circular
Reincorporación de RCD	(RCD reutilizados/ RCD totales)	%	trimestral	Con el fin de evaluar el cierre de ciclo
Variación anual de RCD	((año 2025- año 2024) / (2024) X100	%	Anual	Evalúa la tendencia

Los indicadores para el componente de RCD permiten evaluar tanto el cumplimiento normativo y también el nivel de aprovechamiento con el fin de determinar su aporte a la

economía circular, posicionando este componente de una manera estratégica para el monitoreo ambiental.

Con el fin de dar cumplimiento a los objetivos del presente proyecto, se cuenta con un grupo de profesionales responsables de la coordinación, para la formulación, implementación y mejoramiento continuo que han sido capacitados y entrenados de acuerdo con lo siguiente:

Tabla 14

"Funciones y responsabilidades"

Cargo	**Responsabilidades**
Ingeniero ambiental	- "Velar por la ejecución del plan de gestión de residuos sólidos, incluida la verificación de RESPEL, verificación de las rutas de transporte al interior de la planta de materiales de construcción y entrega a gestores autorizados, previa revisión de permisos ambientales de dichos gestores. - Organizar la información de RESPEL y realizar el reporte anual ante la plataforma del RUA - Realizar reportes trimestrales a la CAR con respecto las cantidades

	de RCD procesadas en la planta

	- Velar por el cumplimiento de la normatividad de RCD en la planta - Velar por el cumplimiento del permiso de emisiones atmosféricas de la planta de producción de asfalto - Contratar un laboratorio acreditado por el IDEAM para el desarrollo del monitoreo anual de emisiones atmosféricas, revisarlo y radicarlo ante la autoridad ambiental. - Organizar la información ambiental, que incluye entrega de todo tipo de residuos, consumo de agua, energía. - Organizar campañas de reciclaje - Hacer seguimiento de la información recolectada a través de los indicadores planteados en este proyecto y continuar con la fase de implementación del presente proyecto" (MHC, 2024)

Profesional en seguridad y salud en el trabajo	- "Verificación de la matriz de incompatibilidad química - Rotulado de sustancias - Velar por el cumplimiento del plan de emergencias y gestión del riesgo"
Jefe de producción	- "Verificar permanentemente que los procedimientos para movilización de residuos peligrosos se lleven a cabo con lo formulado en el PGIRS - Verificar que los acopios de RCD cumplan con la altura según la normatividad y estén cubiertos para evitar dispersión de materiales - Verificar el buen funcionamiento de la planta de producción de asfalto, realizar mantenimientos periódicos y realizar mantenimiento al sistema de control de emisiones atmosféricas"
Operario	- "Realizar la recolección de RESPEL dentro de los horarios y rutas establecidas

	- Distribuir los RESPEL en los contenedores y sitios de almacenamiento teniendo en cuenta su característica de peligrosidad - Verificar el carpado de las volquetas que transportan los RCD - Mantener las áreas limpias" (MHC, 2024)

Fuente: Elaboración propia

Definición de KPIs

La proposición de KPIs se consolidó a partir de los impactos previamente identificados, priorizando aquellos con mayor relevancia. Al medir este desempeño ambiental, se busca identificar donde se pueden reducir las emisiones, desechos y otros impactos. También comparar el desempeño con los estándares, regulaciones o mejores prácticas en la industria (D. & al, s.f.).

Para la definición de los indicadores se tuvieron en cuenta criterios tales como: Relevancia, que indica que el indicador pueda reflejar aspectos ambientales importantes en la operación de la planta; medibles: que la disponibilidad y confiabilidad de la información permita su trazabilidad. Comparables: para poder analizar su comportamiento en el tiempo (Martínez, 2009).

Clasificación de los indicadores

Indicadores de cumplimiento normativo:

Que son aquellos que están orientados a cumplir las normas, los permisos ambientales otorgados por la autoridad ambiental y los límites permisibles con respecto a las obligaciones regulatorias que debe cumplir la planta de producción, de acuerdo con el Marco legal descrito anteriormente.

Indicadores de eficiencia operativa (OPI):

Los indicadores de eficiencia operativa ambiental vinculan el desempeño ecológico con las variables productivas, con el fin de que se optimicen los recursos, reducir los impactos y mejorar la rentabilidad al medir y tener en cuenta el uso de energía, agua, mejorar la gestión del riesgo, reducir los costos mediante el reciclaje, la minimización de residuos y las sustituciones de materiales (Leal, 2005).

“Indicador de desempeño de gestión (MPI)”:

“son los que proporcionan información sobre la gestión para influir en el desempeño ambiental de la organización” (ESG Innova Group, 2020).

Integración del sistema

Se plantea un esquema con el resumen del sistema de monitoreo ambiental propuesto:

Figura 3



Fuente: Elaboración propia

Gestión de riesgos

Esta gestión en la planta se aborda a partir de la identificación de aspectos críticos en las operaciones, incorporando un enfoque preventivo dando cumplimiento al Decreto 2157 del 2017 (MHC, 2026).

Con respecto al componente atmosférico el riesgo se asocia principalmente a posibles "variaciones en las condiciones de operación de la planta de asfalto o fallas en los sistemas de control de emisiones, generando impactos sobre la calidad del aire" (Comnambiente SAS, 2025).

En cuanto al manejo de RESPEL los más relevantes se relacionan con el almacenamiento temporal, la inadecuada manipulación o transporte al cuarto de acopio, lo que puede generar riesgos de contaminación del suelo, afectaciones a la salud y contingencias ambientales en caso de fallas en la cadena de gestión (MHC, 2024).

Por su parte el componente de RCD, los riesgos se asocian al manejo inadecuado de materiales y pérdida de oportunidades de aprovechamiento, lo que puede impactar el desempeño ambiental (MHC, 2024).

En ese sentido, se considera que el sistema de monitoreo ambiental permite fortalecer la gestión del riesgo al incorporar indicadores que proporcionan la trazabilidad de la información y el seguimiento a las variables críticas con el fin de implementar acciones correctivas de manera oportuna.

Propuesta de implementación

Se plantea como propuesta de implementación seguir la estructura de un monitoreo ambiental progresivo “basado en la norma ISO 14001”, que asegura la sostenibilidad mediante fases estructuradas, siguiendo el enfoque ciclo PHVA:

Evaluación ambiental inicial (diagnóstico): Que fue el enfoque que siguió el presente documento, identificando impactos ambientales significativos para establecer la línea base.

Planificación de objetivos y metas y responsabilidades sería el segundo paso, definiendo quienes son los responsables de seguir la trazabilidad de la información y toma de datos.

Implementación y operación: mediante la ejecución del plan de acción, incluyendo formación al personal y establecimiento de procedimientos de control operacional. En este apartado es importante continuar utilizando la información disponible para no aumentar la carga de trabajo volviendo ineficiente el sistema. Se trata de procesar los datos de una manera más eficiente.

Comprobación y acción correctiva (Monitoreo): seguimiento y monitoreo de la información reportada y tomar acciones correctivas cuando así la situación lo amerite.

“Revisión por la dirección y mejora continua: Evaluación de los resultados, toma de decisiones para mejorar el desempeño ambiental” (Camara de Valencia). **Reporte de la información dentro de los informes de sostenibilidad corporativa**: Con el fin de que los resultados de este monitoreo se integren en la información presentada en las licitaciones de proyectos de infraestructura, lo que mejora la competitividad y visibilidad empresarial y la calificación en dichos procesos (Anáhuac, 2025).

Resultados y análisis

El análisis de los resultados obtenidos en el presente trabajo se enfoca en el avance logrado durante la fase de diagnóstico, organización de la información y estructuración del sistema de monitoreo ambiental, teniendo en cuenta que su implementación y validación corresponden a una etapa posterior, cuando se ponga en marcha el monitoreo.

En ese sentido, uno de los objetivos planteó la consolidación y organización de la información que se encontraba dispersa en los diferentes reportes realizados por la compañía tanto operativos como de cumplimiento presentados a la autoridad ambiental. A través del presente trabajo se estructuró dicha información de una manera coherente facilitando su análisis y trazabilidad.

Por otra parte, la matriz de evaluación de impactos ambientales permitió identificar y priorizar los impactos más relevantes de la operación, dejando en evidencia que los componentes asociados a las emisiones de GEI y la generación de residuos peligrosos RESPEL, representan los mayores niveles de impacto y riesgo.

Con esta línea base, se logró estructurar el sistema de monitoreo ambiental a través de (KPIs), alineados con los impactos identificados y con la información disponible en la planta.

Por lo tanto, se espera que la implementación de este sistema permita mejorar la capacidad de la planta para medir, analizar y gestionar el desarrollo de las medidas de sostenibilidad de manera continua, fortaleciendo el control de riesgos y llevando a la organización a implementación de medidas en sostenibilidad.

Por último, es importante precisar que la efectividad del sistema de monitoreo deberá ser evaluada en una fase posterior mediante la implementación real, lo que permitirá validar la aplicabilidad y contribución al desempeño ambiental de la planta.

Propuesta de mejora

Gracias a este trabajo se identificó una propuesta de mejora para fortalecer el sistema de monitoreo ambiental propuesto, y es el desarrollo del "Análisis de ciclo de vida (ACV)" aplicado a la gestión de residuos RCD manejados en la planta.

Ya que, el sistema como se encuentra actualmente permite realizar el seguimiento al manejo de RCD como el volumen y su reincorporación en procesos productivos, contribuyendo a la economía circular (Eurofins, 2023). Sin embargo, para medir realmente el impacto ambiental asociado a esta actividad convendría en gran medida conocer cuanto CO2 se está evitando con el reciclaje de estos materiales.

Teniendo en cuenta que el "ACV es una herramienta que sirve para estudiar los impactos ambientales a lo largo de todo el ciclo de vida de u producto, proceso o actividad. Considerando toda su historia desde su origen hasta que termina siendo un residuo" (Eurofins, 2025).

Así mismo, los resultados se pueden utilizar como soporte técnico en materia de sostenibilidad en las licitaciones en las que concursa la empresa. También en los reportes de sostenibilidad como una estrategia de posicionamiento empresarial, generando valor agregado a la gestión ambiental (Greemko, 2024).

Sin embargo, se reconoce que la implementación de un ACV requiere información detallada y capacidades técnicas y herramientas adicionales, por ello se plantea como una propuesta de mejora, que corresponde a una línea de trabajo futura complementaria al sistema de monitoreo ambiental planteado en el presente trabajo.

Conclusiones

Se dio cumplimiento a los objetivos planteados cuyo resultado permitió diseñar un sistema de monitoreo ambiental basado en (KPIs), orientado a fortalecer la gestión ambiental de la planta de producción a partir de la organización y estructuración de la información disponible.

En primer lugar, se logró consolidar y organizar la información ambiental correspondiente al periodo 2025, la cual como se ha mencionado con anterioridad se encontraba dispersa en diferentes documentos y reportes. Lo cual permitió mejorar la trazabilidad de los datos con el fin de facilitar su análisis.

Un aporte valioso de los KPIs es que se puede transicionar desde un enfoque basado al cumplimiento normativo a un enfoque más propositivo en términos de sostenibilidad, con el fin de implementar medidas que vayan más allá.

Finalmente se concluye que el triunfo de esta iniciativa estriba en su implementación y revisión con el fin de lograr la mejora continua, haciendo seguimiento a las condiciones reales de la operación.

Referencias

360 en Concreto. (s.f.). Obtenido de https://360enconcreto.com/blog/detalle/impactos-ambientales-en-la-industria-de-la-construccion/

ADEN. (18 de marzo de 2025). KPIs y métricas para evaluar proyectos de sostenibilidad. Obtenido de https://www.aden.org/business-magazine/evaluar-proyectos-sostenibilidad-kpismetricas/#:~:text=la%20sostenibilidad%20empresarial,%C2%BFCu%C3%A1les%20son%20los%20KPIs%20de%20sostenibilidad?,la%20reputaci%C3%B3n%20de%20la%20compa%C3%B1%C3%ADa

Anáhuac. (13 de febrero de 2025). Toma de decisiones basada en datos: Claves para el éxito empresarial. Obtenido de https://oaxaca.anahuac.mx/posgrados/blog/decisiones-basadas-en-datos-claves-para-el-%C3%A9xito-empresarial#:~:text=La%20toma%20de%20decisiones%20basada%20en%20datos%20es%20el%20proceso,para%20respaldar%20sus%20acciones%20estrat%C3%A9gicas

ANDI. (2023). Guía para la identificación, análisis y evaluación de riesgo de desastres en el sector minero energético. Bogotá: Colombia Potencia de la vida.

BS Campus. (s.f.). Indicadores de desempeño ambiental: Herramientas para evaluar la sostenibilidad. Obtenido de https://proceso-seleccion.bsginstitute.com/bs-campus/blog/indicadores-de-desempeno-ambiental-herramientas-para-evaluar-la-sostenibilidad-1436

Camara de Valencia. (s.f.). Fases y metodología para la implantación de un sistema de gestión ambiental ISO 14001 en el marco de la sostenibilidad. Obtenido de https://negociosostenible.camaravalencia.com/wp-content/uploads/2023/12/Guia_IVACE_Fases_metodologia_implantacion_Sistema_Gestion_Ambiental_ISO_14001_marco_sostenibilidad.pdf

Cámara de Valencia. (s.f.). Gestión de riesgos ambientales: eje crítico para la sostenibilidad empresarial. Obtenido de https://negociosostenible.camaravalencia.com/ambiental/tendencias/gestion-de-riesgos-ambientales-eje-critico-para-la-sostenibilidad-empresarial/#:~:text=En%20este%20marco%2C%20la%20gesti%C3%B3n%20de%20riesgos,identificar%2C%20evaluar%2C%20mitigar%20y%20mo

CLARIOS ANDINA S.A.S. (2025). Certificado de aprovechamiento. Bogotá. Comnambiente SAS. (2025). Estudio de emisiones atmosféricas. Bogotá: MHC.

D., A., & al, e. (s.f.). Linkedin. Obtenido de ¿Cuáles son los mejores KPIs para medir el impacto ambiental de tu negocio?: https://www.linkedin.com/advice/3/what-best-kpis-measure-environmental?lang=es&originalSubdomain=es#:~:text=Aqu%C3%AD%20tienes%20algunos%20KPIs%20clave%20para%20medir,Volumen%20de%20residuos%20generados%20y%20porcentaje%20reciclado

Decreto único ambiental 1076 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2015).

Durán, L. D., & al, e. (2025). Plan de mejoramiento para las practicas ambientales en la Policía Nacional de Colombia. Universidad EAN.

Escobar, B., & al, e. (2025). Riesgos empresariales ¿Cómo gestionarlos? Bogotá: Universidad del Rosario.

ESG innova Group. (12 de enero de 2015). ISO 14001: La documentación del sistema de gestión ambiental. Obtenido de https://www.nueva-iso-14001.com/2015/01/iso-14001-la-documentacion-del-sistema-de-gestion-ambiental/#:~:text=Toda%20la%20documentaci%C3%B3n%20que%20se,visual%2C%20biodiversidad%2C%20etc

ESG Innova Group. (1 de junio de 2020). Indicadores medioambientales para la empresa. Obtenido de https://www.nueva-iso-14001.com/2020/06/indicadores-medioambientales-para-la-empresa/

ESG Innova Group. (1 de junio de 2020). Indicadores medioambientales para la empresa .

Obtenido de https://www.nueva-iso-14001.com/2020/06/indicadores-medioambientales-para-la-empresa/

Eurofins. (13 de septiembre de 2023). ¿Qué es la construcción sostenible y por qué es importante? Obtenido de https://www.eurofins-environment.es/es/que-es-la-construccion-sostenible/#:~:text=Construcci%C3%B3n%20Sostenible:%20en%20qu%C3%A9%20consiste&text=La%20construcci%C3%B3n%20sostenible%20tiene%20por,la%20rentabilidad%20econ%C3%B3mica%20del%20proyecto

Eurofins. (8 de agosto de 2025). Análisis de ciclo de vida. Obtenido de https://www.eurofins-environment.es/es/analisis-de-ciclo-de-vida-que-es/

EXPLORABLE. (s.f.). Muestreo no probabilístico. Obtenido de https://explorable.com/es/muestreo-no-probabilistico#:~:text=El%20muestreo%20discrecional%20es%20m%C3%A1s,son%20elegidos%20deliberadamente%20como%20sujetos

Fominaya, P. R. (30 de enero de 2026). KPIs para mejorar la productividad de tu empresa. Obtenido de https://www.datadec.es/blog/kpis-productividad-empresa-guia-para-directivos#:~:text=La%20identificaci%C3%B3n%20de%20%C3%A1reas%20de,preventivas%20para%20evitar%20problemas%20mayores

Geoinnova. (14 de abril de 2021). ¿Qué son los ODS u Objetivos de Desarrollo Sostenible? Obtenido de https://geoinnova.org/blog-territorio/ods-objetivos-de-desarrollo-sostenible-gestion-territorio/#ODS_9_Industria_innovacion_e_infraestructura

González, M. A. (2019). Evaluación de impactos ambientales en el sector productivo para la empresa Coltejer S.A. Caldas- Antioquia: Corporación Universitaria Lasallista.

Greemko. (4 de junio de 2024). Indicadores de sostenibilidad ambiental: cuáles son y cómo medir el impacto ambiental de una empresa . Obtenido de https://greemko.com/blog/indicadores-sostenibilidad-ambiental/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20son%20los%20indicadores%20de,calcular%20tu%20huella%20de%20carbono

Green Progress. (s.f.). ¿Que es la matriz de Conesa? Obtenido de https://evaluaciondeimpactoambiental.com/matriz-conesa/

Grupo Banco Mundial . (7 de septiembre de 2022). Colombia lidera el camino hacia la sostenibilidad en América Latina. Obtenido de https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2022/08/31/colombia-leading-the-path-to-sustainability-in-latin-america

Industrias Químicas FIQ SAS. (2025). Certificado de manejo de procesamiento de residuos peligrosos. Bogotá.

Institución universitaria Colegio Mayor de Antioquia. (2010). Manual de gestión socio- ambiental para obras en construcción. Medellín.

INVIAS. (2011). Guía de manejo ambiental de proyectos de infraestructura subsector vial . Bogotá.

La República. (18 de marzo de 2026). Infraestructura sostenible en Colombia. Obtenido de https://www.larepublica.co/analisis/angelica-ospina-4217215/infraestructura-sostenible-en-colombia-4217210

Leal, J. (2005). Ecoeficiencia: marco de análisis, indicadores y experiencias. Santiago de Chile: CEPAL.

Martínez, R. Q. (2009). Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe. Santiago de Chile: CEPAL Naciones Unidas. Obtenido de CEPAL Naciones Unidas: 2009

Medina, M. Á., & al, e. (2023). Método Mixto de investigación Cuantitativo y cualitativo. Puno: INUDI PERÚ.

MHC. (15 de 05 de 2024). Formulación del plan de gestión integral de residuos o desechos peligrosos del Centro de producción mantenimiento y operaciones- CMOPKM12 "La Punta". PGIRS. Bogotá, Colombia.

MHC. (2024). Formulación del plan de gestión integral de residuos o desechos peligrosos del CMOP La Punta. Bogotá.

MHC. (2024). Plan de contingencias. Bogotá.

MHC. (2024). Programa de manejo ambiental de RCD. Bogotá. MHC. (2025). F339 totales reporte RESPEL. Bogotá.

MHC. (2025). Reporte RCD ante la CAR. Bogotá.

MHC. (2026). Plan de contingencias y gestión del riesgo. Bogotá.

Min Ambiente. (2022). Guía de materiales para la construcción sostenible. Bogotá: Gobierno de Colombia.

Min Ambiente. (s.f.). En que consiste la construcción sostenible. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/construccion-sostenible/#:~:text=%C2%BFEn%20qu%C3%A9%20consiste%20la%20construcci%C3%B3n,h%C3%A1bitos%20sostenibles%20entre%20sus%20usuarios

Min Ambiente. (s.f.). Estrategia Nacional de Economía Circular. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/estrategia-nacional-de-economia-circular/

Min Ambiente. (s.f.). Flujo de materiales de construcción. Obtenido de https://economiacircular.minambiente.gov.co/index.php/lineas-de-accion/flujo-materiales-de-construccion/

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2018). Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales. Bogotá D.C.

Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible. (2025). Retos y oportunidades en la gestión de residuos de construcción y demolición RCD en Colombia. Bogotá.

Naciones Unidas. (s.f.). Sostenibilidad. Obtenido de https://www.un.org/es/impacto-acad%C3%A9mico/sostenibilidad

Norma Internacional ISO14001, ISO 14001 (ISO 15 de 09 de 2015).

ONU. (2025). Objetivos y metas de desarrollo sostenible. Obtenido de https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/

Pacto Mundial Red España. (s.f.). Obtenido de https://www.pactomundial.org/sostenibilidad-empresarial/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20sostenibilidad%20empresarial,ASG%20en%20sus%20estrategias%20corporativas

RECIPROIL. (2025). ACTA DE RECIBO Y TRATAMIENTO DE ACEITE USADO. BOGOTÁ.

RECIPROIL LTDA. (2025). Acta de recibo y disposición final de filtros usados. Bogotá.

Trazable Life Cycle. (2020). Indicadores de sostenibilidad: clave para un futuro responsable.

Obtenido de https://trazable.io/blog/indicadores-sostenibilidad-clave-para-un-futuro-responsable/#:~:text=Esta%20alineaci%C3%B3n%20no%20solo%20mejora%20la%20reputaci%C3%B3n,la%20responsabilidad%20social%20dentro%20de%20su%20entorno

Unir la Universidad En Internet. (18 de abril de 2024). Riesgos ambientales: qué son, tipos y evaluación. Obtenido de https://www.unir.net/revista/ingenieria/riesgos-ambientales/#:~:text=Riesgos%20ambientales:%20qu%C3%A9%20son%2C%20tipos%20y%20evaluaci%C3%B3n%20%7C%20UNIR

Listado de Anexos

Anexo 1 Tabla evaluación de impactos ambientales