ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
ÁREA DE DESARROLLO BUCARE

CAPÍTULO 4 DEMANDA, USO, APROVECHAMIENTO Y/O AFECTACIÓN DE RECURSOS NATURALES

4.7 Emisiones Atmosféricas

S.G.I. S.A.S.
Consultoría e Ingeniería

CONTENIDO

4 DEMANDA, USO, APROVECHAMIENTO Y/O AFECTACIÓN DE RECURSOS NATURALES 1
4.7 EMISIONES ATMOSFÉRICAS 1
4.7.1 Inventario de emisiones 1
4.7.1.1 Factores de emisión empleados 2
4.7.1.1.1 Fuentes de área 2
4.7.1.1.1.1 Factores de emisión por descapote 3
4.7.1.1.1.2 Nivelación y movimiento de material con buldócer 4
4.7.1.1.1.3 Factores de emisión por manipulación de material a granel 5
4.7.1.1.1.4 Fuentes móviles por maquinaria no vial alimentada con diésel 5
4.7.1.1.1.5 Perforación 6
4.7.1.1.2 Fuentes fijas puntuales 7
4.7.1.1.2.1 Factores de emisión para maquinaria de combustión con motores reciprocantes a Diesel 7
4.7.1.1.2.2 Factores de emisión para maquinaria de combustión con motores reciprocantes a gas natural 7
4.7.1.1.2.2.1 Factores de emisión para Teas 8
4.7.1.1.2.3 Fuentes lineales 9
4.7.1.1.2.3.1 Factores de emisión por resuspensión 11
4.7.1.1.2.3.2 Factores de emisión por fuentes móviles 13
4.7.1.2 Inventario de emisiones atmosféricas 14
4.7.1.2.1 Inventario de emisiones atmosféricas escenario 2 14
4.7.1.3 Fuentes de emisiones atmosféricas contempladas para el permiso de emisiones atmosféricas 16
4.7.1.4 Modelación de aire 17
4.7.1.4.1 Fuentes de emisiones atmosféricas 17
4.7.1.4.1.1 Fuentes de emisión para el Escenario 1 17
4.7.1.4.1.2 Fuentes de emisión para el Escenario 2 y 3 20
4.7.1.4.2 Inventario de emisiones atmosféricas 23
4.7.1.4.2.1 Inventario de emisiones atmosféricas Escenario 1 23
4.7.1.4.2.2 Inventario de emisiones atmosféricas Escenario 2 24
4.7.1.4.2.3 Inventario de emisiones atmosféricas Escenario 3 26
4.7.1.4.3 Resultados de los escenarios de modelación 27
4.7.1.4.3.1 Resultados materiales particulados PM10 y PM2.5 Escenarios 1,2 y 3 28
4.7.1.4.3.1.1 Material particulado PM10 promedio anual 29
4.7.1.4.3.1.2 Material particulado PM10 24 horas 30
4.7.1.4.3.1.3 Material particulado PM2.5 promedio anual 31
4.7.1.4.3.1.4 Material particulado PM2.5 24 horas 32
4.7.1.4.3.2 Resultados dióxido de nitrógeno (NO2), monóxido de carbono (CO) y dióxido de azufre (SO2) Escenarios 1 y 2 33
4.7.1.4.3.2.1 Dióxido de nitrógeno promedio anual 33
4.7.1.4.3.2.2 Dióxido de nitrógeno 1 hora 34
4.7.1.4.3.2.3 Monóxido de carbono 8 horas 35
4.7.1.4.3.2.4 Monóxido de carbono 1 hora 36

4.7.1.4.3.2.5 Dióxido de azufre 24 horas 37
4.7.1.4.3.2.6 Dióxido de azufre 1 hora 38
4.7.1.4.3.3 Conclusiones 39
4.7.1.5 Modelo de ruido 40
4.7.1.5.1 Metodología 40
4.7.1.5.2 Escala espacial de modelación 40
4.7.1.5.3 Escala temporal de modelación 40
4.7.1.5.4 Meteorología 41
4.7.1.5.5 Tipo de modelo 41
4.7.1.5.6 Escenarios de modelación 42
4.7.1.5.7 Resultados 42
4.7.1.5.7.1 Escenario de línea base 43
4.7.1.5.7.1.1 Modelo de propagación de ruido del escenario base en horario diurno 43
4.7.1.5.7.1.2 Modelo de propagación de ruido del escenario base en horario nocturno 44
4.7.1.5.7.2 Escenario de construcción 44
4.7.1.5.7.2.1 Modelo de propagación de ruido del escenario construcción horario diurno 45
4.7.1.5.7.3 Escenario de operación sin medidas de control 46
4.7.1.5.7.3.1 Modelo de propagación de ruido del escenario operativo sin medidas de control en horario diurno 46
4.7.1.5.7.3.2 Modelo de propagación de ruido del escenario operativo sin medidas de control en horario nocturno 47
4.7.1.5.7.4 Escenario de operación con medidas de control 48
4.7.1.5.7.4.1 Modelo de propagación de ruido del escenario operativo con medidas de control en horario diurno 48
4.7.1.5.7.4.2 Modelo de propagación de ruido del escenario operativo con medidas de control en horario nocturno 49
4.7.1.5.7.5 Conclusiones 50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4-1 Factores de emisión para fuentes con partículas suspendidas No controladas: Maquina rascadora 3
Tabla 4-2 Factores de emisión para fuentes con partículas suspendidas No controladas: camiones de carga y buldócer. 4
Tabla 4-3 Factor multiplicador aerodinámico del tamaño de partícula (k) 5
Tabla 4-4 Factores de emisión de nivel 1 para maquinaria todoterreno 6
Tabla 4-5 Factores de emisión considerados para estimación de emisiones de motores reciprocantes que operan con Diesel. 7
Tabla 4-6 Factores de emisión considerados para estimación de emisiones de motores reciprocantes que operan con Gas natural. 8
Tabla 4-7 Factores de emisión considerados para estimación de emisiones de Teas 8
Tabla 4-8 Constantes para cálculo de emisiones por resuspensión 12
Tabla 4-9 Constantes para cálculo de emisiones por resuspensión. 13
Tabla 4-10 Factores de emisión para fuentes móviles en países en vías de desarrollo. 13
Tabla 4-11 Inventario de emisiones atmosféricas para el escenario de construcción y operación sin medidas de control 14

Tabla 4-12 Fuentes fijas a requerir permiso de emisiones 16
Tabla 4-13 Fuentes lineales de emisión escenario de línea Base 17
Tabla 4-14 Fuentes fijas de área 20
Tabla 4-15 Fuentes lineales de emisión escenario constructivo sin medidas de control 21
Tabla 4-16 Inventario de emisiones atmosféricas para el escenario de línea base 23
Tabla 4-17 Inventario de emisiones atmosféricas para el escenario de construcción y operación sin medidas de control 24
Tabla 4-18 Inventario de emisiones atmosféricas para el escenario de construcción y operación con medidas de control 26
Tabla 4-19 Parámetros atmosféricos del modelo 41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4-1 Modelo conceptual para fuentes de emisión de área. 2
Figura 4-2 Características de Tea ingresadas al algoritmo de pseudo chimenea en AERMOD View. 9
Figura 4-3 Modelo conceptual para fuentes de emisión lineales. 9
Figura 4-4 Inventario de Emisiones Escenario 2 15
Figura 4-5 Inventario de Emisiones Escenario 1 24
Figura 4-6 Inventario de Emisiones Escenario 2 25
Figura 4-7 Inventario de Emisiones Escenario 2 27
Figura 4-8 Resultados anuales de material particulado PM10 para los tres escenarios estudiados. 29
Figura 4-9 Resultados 24 horas de material particulado PM10 para los tres escenarios estudiados. 30
Figura 4-10 Resultados anuales material particulado PM2.5 para los tres escenarios estudiados. 31
Figura 4-11 Resultados 24 horas de material particulado PM2.5 para los tres escenarios estudiados 32
Figura 4-12 Resultados anuales de dióxido de nitrógeno NO2 para los dos escenarios estudiados 33
Figura 4-13 Resultados 1 hora dióxido de nitrógeno NO2 para los dos escenarios estudiados. . 34
Figura 4-14 Resultados 8 horas monóxido de carbono CO para los dos escenarios estudiados. 35
Figura 4-15 Resultados 1 hora monóxido de carbono CO para los dos escenarios estudiados. . 36
Figura 4-16 Resultados 24 horas dióxido de azufre SO2 para los dos escenarios estudiados.... 37
Figura 4-17 Resultados 1 hora dióxido de azufre SO2 para los dos escenarios estudiados. 38
Figura 4-18 Parámetros atmosféricos Predictor Lima 2024 41
Figura 4-19 Mapa de isófonas para el escenario base en horario diurno 43
Figura 4-20 Mapa de isófonas para el escenario base en horario nocturno 44
Figura 4-21 Mapa de isófonas para el escenario constructivo en horario Diurno 46
Figura 4-22 Mapa de isófonas del proyecto para el escenario operativo sin medidas de control en horario diurno 47
Figura 4-23 Mapa de isófonas del proyecto para el escenario operativo sin medidas de control en escenario nocturno 48
Figura 4-24 Mapa de isófonas del proyecto para el escenario operativo con medidas de control en horario diurno 49

Figura 4-25 Mapa de isófonas del proyecto para el escenario operativo con medidas de control en horario nocturno 50

4 DEMANDA, USO, APROVECHAMIENTO Y/O AFECTACIÓN DE RECURSOS NATURALES

4.7 EMISIONES ATMOSFÉRICAS

Para la ejecución del proyecto de explotación de hidrocarburos en el Área de Desarrollo Bucare, se contemplan actividades que generan emisiones atmosféricas provenientes de diversas fuentes. Entre ellas se encuentran las fuentes móviles, asociadas a la movilización de vehículos destinados al transporte de materiales y personal durante las diferentes fases del proyecto. Asimismo, se consideran fuentes fijas derivadas de la operación, tales como generadores eléctricos, equipos de combustión externa (quemadores y calderas) y las teas, las cuales operan de forma contingente durante la fase operativa del proyecto.

En el presente numeral se presenta la conceptualización de dichas fuentes de emisión, las cuales fueron incorporadas en el modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos elaborado con el software AERMOD View. Para la construcción del modelo se tuvieron en cuenta factores específicos como las condiciones climáticas de la zona de estudio, la topografía, la calidad del aire actual, así como las fuentes de emisión que potencialmente podrían generarse como consecuencia del desarrollo del proyecto y que obedecen al cronograma de construcción y operación, para el cual se consideraron 3 escenarios:

- ✓ Escenario 1 Línea Base del proyecto: Se consideran las emisiones de las fuentes lineales existentes (vías de interés del proyecto).
- ✓ Escenario 2 Construcción y Operación sin Medidas de control: Considera las emisiones provenientes de la línea base, así como aporte las emisiones atmosféricas asociadas provenientes de las actividades de construcción de las diferentes áreas apoyo, así como las plataformas multipozo, CPF y ZODME.
- ✓ Escenario 3: Construcción y Operación con Medidas de control: En este escenario se mantienen las mismas fuentes de emisión consideradas en el escenario anterior; sin embargo, se incorporan las medidas de control de emisiones, tales como el riego periódico de las vías sin pavimentar y que son de interés para el proyecto, junto con la implementación de controles de velocidad para la flota vehicular proyectada en vías no pavimentadas.

Teniendo en cuenta lo anterior, se establece que el escenario crítico corresponde al **Escenario 2**. Cabe mencionar que la definición y parametrización de los escenarios de modelación se realizaron a partir de los resultados de los monitoreos específicos de calidad del aire, los cuales permitieron caracterizar de manera precisa las condiciones atmosféricas actuales en el área de influencia del proyecto. Estos monitoreos fueron determinantes para la toma de decisiones descritas en este numeral y constituyen la base técnica para la construcción del escenario crítico. La información detallada de dichos monitoreos se presenta en el **Capítulo 3 Caracterización del Área de Influencia / 3.2 Caracterización Abiótico / 3.2.9 Atmósfera / 3.2.9.2 Aire Atmósfera Bucare**, así como en la ruta **Anexos/5. Anexo Abiótico/ 5.8.2 Calidad del Aire.**

4.7.1 Inventario de emisiones

En esta sección se presenta, a manera de resumen, la metodología empleada y los resultados obtenidos para la estimación del inventario de emisiones atmosféricas en el escenario crítico, correspondiente al escenario de Construcción y Operación sin Medidas de Control. La información completa, así como el detalle de los procedimientos, supuestos y cálculos realizados, se encuentra disponible en la ruta **Anexo/8. Anexo Uso y aprovechamiento de recursos/ 8.7 Emisiones atmosféricas/ 8.7.2 Modelo de aire**.

4.7.1.1 Factores de emisión empleados

A continuación, se describe la metodología implementada para la estimación de emisiones atmosféricas de las fuentes de emisión del Proyecto, establecidas como aporte de cargas contaminantes dentro de las actividades realizadas en la etapa de construcción y operación; así como la parametrización de los resultados del inventario antes de ser alimentados al modelo AERMOD.

4.7.1.1.1 Fuentes de área

En la **Figura 4-1** se presenta el modelo conceptual utilizado para simular las fuentes de área de las actividades de obra civil y producción presentes en la Central Térmica.

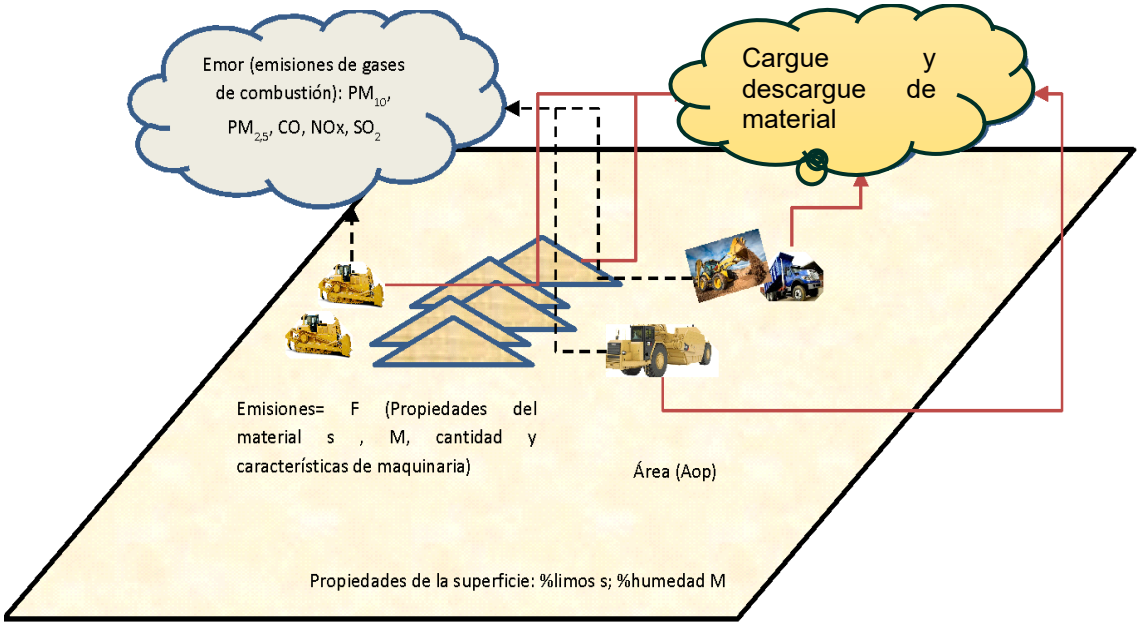


Figura 4-1 Modelo conceptual para fuentes de emisión de área.
Fuente: SGI S.A.S, 2025.

Las emisiones totales E_{AOC} por fuente de área en actividades de obra civil se calculan como:

$$E_{OC} \sum_{i=1}^{n} \quad E_{A1} + E_{A2} + \cdots + E_{An}$$

Dónde:

EOC= Emisiones de las actividades de obra civil.
EA1, EA2, EAn= emisiones de la operación 1 hasta la operación n de obra civil.

Las emisiones de las operaciones de obra civil referidas al área de la vía, las cuales se alimentarán al AERMOD se calculan como:

$$E'OCi = \frac{E_{OCI}}{A_{OP}} = \frac{E_{A1}}{A_{OP}} + \frac{E_{A2}}{A_{OP}} + \cdots + \frac{E_{An}}{A_{OP}}$$

Dónde:

E'_{OCi} = Flujo másico de contaminante i a la atmosfera por unidad de área i (g/s m^2).
E_{OCi}= Emisiones de las actividades de obra civil del contaminante i(g /s).
A_{op} = Área donde se desarrolla la actividad que genera las descargas de contaminantes a la atmosfera (m^2).

Las emisiones de cada actividad considerada en la obra civil (E_{An}) se calculan en forma genérica como:

$$E_{An}= FE_n*FA_n$$

Donde:

FE_n= Factor de emisión de la actividad n
FA_n= Factor de actividad de la actividad n

El desarrollo de cada término de emisiones se presenta en las emisiones subsecuentes. Para la estimación de emisiones de obra civil se siguen los lineamientos establecidos por la US EPA en "*Emission Factors AP42 CH 13.2.3: Heavy Construction Operation*"[1]; donde se establecen procedimientos para estimación de emisiones de diferentes actividades presentes y se asignan factores de emisión de otras secciones aplicables de AP 42, "*Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources*

4.7.1.1.1.1 Factores de emisión por descapote

Para la operación de descapote se consideran los factores de emisión planteados para la operación de remoción de capa vegetal mediante maquinas rascadoras (Scrapers). Los factores de emisión utilizados se presentan en la **Tabla 4-1**.

Tabla 4-1 Factores de emisión para fuentes con partículas suspendidas No controladas: Maquina rascadora

FUENTE	MATERIAL	FACTOR DE EMISIÓN TSP	UNIDADES	RATING
"Scraper machine"	Capa vegetal	0,029	Kg/Mg	E

Fuente: AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 11 Section 11.9, Tables 11.9-4 SOURCES AT WESTERN SURFACE COAL MINES. https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch11/final/c11s09.pdf

Tomando como base los factores de emisión, la descarga de contaminantes a la atmósfera de dicha actividad se calculará como:

$$E_A= FE_n*FA_n * K$$

Donde:
EA= Emisión de la actividad (g/s).
FE= Factor de emisión de la actividad Kg/Mg.
FA_n= Factor de actividad de la actividad (Mg/año).
K= Grupo de factores de conversión que proporcionan consistencia dimensional a la expresión.

En este caso se define el factor de Actividad como la masa de Material removido por unidad de tiempo.

[1] Consultar en https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s02-3.pdf

Para la especiación por tamaño de partícula (PM10 y PM 2,5), se aplican los datos de distribución generalizada de partícula reportados en "Compilation of Air Pollutant Emissions Factors (AP-42). APPENDIX B.2 GENERALIZED PARTICLE SIZE DISTRIBUTIONS"[2]

Alternativamente para en actividades relacionadas con remoción de capa vegetal en actividades de excavación para el tendido de líneas de flujo se considera el factor de emisión de 5,7 kg/VKT propuesto por AP-42, CH 13.2.3: "Heavy Construction Operation - section updated to correct".3 En ese caso las emisiones se calculan como:

Tomando como base los factores de emisión, la descarga de contaminantes a la atmósfera de dicha actividad se calculará como:

$$E_A = FE_n * FA_n * K$$

Donde:
EA= Emisión de la actividad (g/s).
FE= Factor de emisión de la actividad Kg/VKT.
FA_n= Factor de actividad de la actividad Vkm (Vehículos por longitud de vía) .
K= Grupo de factores de conversión que proporcionan consistencia dimensional a la expresión.

4.7.1.1.1.2 Nivelación y movimiento de material con buldócer

Para las operaciones de movimiento de material y nivelación se consideran los factores de emisión planteados para la operación con buldócer Los factores de emisión utilizados se presentan en la **Tabla 4-2**.

Tabla 4-2 Factores de emisión para fuentes con partículas suspendidas No controladas: camiones de carga y buldócer.

FUENTE	FACTOR DE EMISIÓN EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA (KG/H)		FACTOR DE ESCALAMIENTO		UNIDADES	RATING
	TSP<30 □m	<15 □m	PM10[4]	PM2,5[5]		
Bulldozer	$\frac{2{,}6s^{1,2}}{M^{1,3}}$	$\frac{0{,}45s^{1,5}}{M^{1,4}}$	*0,75*	*0,105*	*Kg/h*	*CCDD*

Fuente: AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 11 Section 11.9, Tables 11.9-1/11.9-2
https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch11/final/c11s09.pdf

Tomando como base los factores de emisión, la descarga de contaminantes a la atmósfera de dicha actividad se calculará como:

$$EA = FEn * FAn * K$$

Donde:

EA= Emisión de la actividad (g/s).
FE= Factor de emisión de la actividad Kg/h.
FAn= Numero de buldóceres en obra (Adimensional).
K= Grupo de factores de conversión que proporcionan consistencia dimensional a la expresión.
En este caso se define el factor de Actividad como la masa de Material removido por unidad de tiempo.

[2] https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/appendix/appb-2.pdf
[3] https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s02-3.pdf
[4] Para obtener el factor de PM10 Multiplicar El factor de emisión de PM15 por el factor de escalamiento.
[5] Para obtener el factor de PM2.5 Multiplicar El factor de emisión de TSP por el factor de escalamiento.

4.7.1.1.1.3 Factores de emisión por manipulación de material a granel

Para las operaciones de carga, descarga y movimiento de material a granel resultante de las operaciones de construcción se consideran los factores de emisión planteados AP42 13.2.4 Aggregate Handling And Storage Piles (Ver https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0204.pdf).

$$E = k(0.0016) * \frac{\left(\frac{U}{2.2}\right)^{1.3}}{\left(\frac{M}{2.2}\right)^{1.4}} (kg/Mg)$$

Donde:

E=factor de emisión (kg/Mg)
K=multiplicador tamaño de partícula
U=velocidad media del viento (m/s)
M=humedad de material (%)

El factor multiplicador k varía con el diámetro aerodinámico de la partícula (Ver **Tabla 4-3**).

Tabla 4-3 Factor multiplicador aerodinámico del tamaño de partícula (k)

FACTOR MULTIPLICADOR SEGÚN TAMAÑO DE PARTÍCULA				
<30MM	**<15 MM**	**<10 MM**	**<5 MM**	**<2,5 MM**
0.74	0.48	0.35	0.20	0.053

Fuente: AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 13 Section 13.2.4/13.2.4.3 https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0204.pdf

Tomando como base los factores de emisión, la descarga de contaminantes a la atmósfera de dicha actividad se calculará como:

$$E_A = FE_n * FA_n * K$$

Donde:

EA= Emisión de la actividad (g/s).
FE= Factor de emisión de la actividad Kg/Mg.
FA_n= Factor de actividad de la actividad (Mg/año).
K= Grupo de factores de conversión que proporcionan consistencia dimensional a la expresión.

En este caso se define el factor de Actividad como la masa de Material manipulado por unidad de tiempo.

4.7.1.1.1.4 Fuentes móviles por maquinaria no vial alimentada con diésel

Esta categoría incluye todo tipo de vehículo con maquinaria pesada accionada por motores de combustión interna utilizadas en actividades de obra civil, los cuales no se movilizan en carretera. La estimación de las emisiones de este tipo de fuente se realiza utilizando los factores de emisión reportados por la Unión Europea en el documento "***EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 – Update May 2017".***

Tabla 4-4 Factores de emisión de nivel 1 para maquinaria todoterreno

CONTAMINANTE	UNIDAD	FACTOR DE EMISIÓN
CO	g/Ton	10774
NMVOC	g/Ton	3377
NO_X	g/Ton	32629
PM_{10}	g/Ton	2104
$PM_{2.5}$	g/Ton	2104
SO_2	g/Ton	724

Fuente: Winther & Dore, 2017, EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook, Sección 3.2, Tabla 3-1

Tomando como base los factores de emisión, la descarga de contaminantes a la atmósfera de dicha actividad se calculará como:

$$E_A = FE_n * FA_n * K$$

Donde:

EA= Emisión de la actividad (g/s).
FE= Factor de emisión de la actividad g/t (gramos por tonelada de combustible).
FAn= Factor de actividad de la actividad (t/año).
K= Grupo de factores de conversión que proporcionan consistencia dimensional a la expresión.

En este caso se define el factor de Actividad como la masa combustible que consume la flota vehicular.

El cálculo del Factor de actividad en este caso será:

$$FA_n = \sum_{i=1}^{n} \frac{P_i}{PC} * \frac{1}{\eta}$$

Donde:

Pi=Potencia nominal de la categoría de máquina i.
PC=Poder calorífico superior del combustible.
η= Eficiencia media de la maquinaria en la quema del combustible.

Para el presente modelo, a la escala de trabajo se realiza de lunes a sábado, entre las 7:00 am y las 5:00pm

4.7.1.1.1.5 Perforación

Para las actividades de perforación se utilizan los factores de emisión propuestos por el documento “AP 42 11.9 WESTERN SURFACE COAL MINING, TABLE 11.9-4 (ENGLISH AND METRIC UNITS). UNCONTROLLED PARTICULATE EMISSION FACTORS FOR OPEN DUST SOURCES AT WESTERN SURFACE COAL MINES” El factor seleccionado (0,57 kg/agujero) corresponde a actividades de perforación en obra civil en actividades mineras. Las emisiones de las actividades de perforación se simulan asignado un tiempo total de 3 meses para los pozos distribuidos uniformemente en dicho lapso.

La carga másica aportada a la atmosfera de PM10 y PM2.5 se distribuye de manera uniforme entre las 4 plataformas, de tal forma que las emisiones de perforación de los pozos se refieren al área.

La emisión para la actividad de perforación se calcula como

$$E_A = FE_n * FA_n * K$$

Donde:

EA= Emisión de la actividad (g/s).
FE= Factor de emisión de la actividad Kg/ perforación.
FA_n= Numero de perforaciones por año
K= Grupo de factores de conversión que proporcionan consistencia dimensional a la expresión.

4.7.1.1.2 Fuentes fijas puntuales

4.7.1.1.2.1 Factores de emisión para maquinaria de combustión con motores reciprocantes a Diesel

Para la estimación de las emisiones de maquinaria industrial estacionaria con motores reciprocante a Diesel se implementan los factores de emisión presentados en la **Tabla 4-5**. Dicha tabla considera emisiones no controladas de NOx y capacidades superiores a 600 HP.

Tabla 4-5 Factores de emisión considerados para estimación de emisiones de motores reciprocantes que operan con Diesel.

	CONTAMINANTE	FACTOR DE EMISIÓN	RATING DEL FACTOR DE EMISIÓN
		lb/MMBTU	
LARGE GASOLINE AND DIESEL INDUSTRIAL ENGINES	NO_x	1,9	D
	SO_x	6,36E-03	D
	MP[6]	1,00E-01	D
	CO	8,5E-01	D

[7]*Fuente: AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 3: 3.4 Gasoline and diesel Industrial engines Engines https://www.epa.gov/system/files/documents/2025-04/c03s04_april2025.pdf*

4.7.1.1.2.2 Factores de emisión para maquinaria de combustión con motores reciprocantes a gas natural

Para la estimación de las emisiones de maquinaria industrial estacionaria con motores reciprocante a gas natural se implementan los factores de emisión presentados en la **Tabla 4-6**. Dicha tabla considera emisiones no controladas de NOx.

[6] El factor de emisión para PM10 y PM 2,5 tienen el mismo valor.
[7] *Fuente: AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 3: 3.4 Large Stationary Diesel and All Stationary Dual-fuel Engines https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch03/final/c03s04.pdf*

Tabla 4-6 Factores de emisión considerados para estimación de emisiones de motores reciprocantes que operan con Gas natural.

	CONTAMINANTE	FACTOR DE EMISIÓN	RATING DEL FACTOR DE EMISIÓN
		lb/MMBTU	
NATURAL GAS-FIRED RECIPROCATING ENGINES	**NO_x**	4.08	B
	SO_x	5,88E-4	A
	MP[8]	7.71E-1	D
	CO 90-105% load	3.17E-1	B

[9]*Fuente: AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 3: 2 Natural Gas-fired Reciprocating Engines https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-10/documents/c03s02.pdf*

4.7.1.1.2.2.1 Factores de emisión para Teas

Para la estimación de emisiones puntuales generadas a partir de teas se implementan los factores de emisión presentados en la **Tabla 4-7**. Los factores de emisión utilizados para las emisiones de contaminantes criterio toma en consideración la adopción de buenas prácticas en el control operacional de los equipos caso en el cual son adecuados los planteados por la Agencia Europea del Medio Ambiente para las Teas con un buen nivel de operación.

Tabla 4-7 Factores de emisión considerados para estimación de emisiones de Teas

	CONTAMINANTE	FACTOR DE EMISIÓN
		g/GJ
INDUSTRIAL FLARES	**NO_x**	29.2
	MP[10]	0.89
	CO	133

[11]*Fuente EEA, 1,B,2,c Venting And Flaring 2019_https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-b-fugitives/1-b-2-c-venting/view*

Por otra parte, para el modelado de la Tea mediante el software Aermod se hace necesario ingresar características técnicas que son propias del funcionamiento de esta, las cuales son adoptadas por el software mediante la opción “Flare Sources”, tal y como se muestra en la siguiente figura.

[8] El factor de emisión para PM10 y PM 2,5 tienen el mismo valor.
[9] *Fuente: AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 3: 3.4 Large Stationary Diesel and All Stationary Dual-fuel Engines https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch03/final/c03s04.pdf*
[10] El factor de emisión para PM10 y PM 2,5 tienen el mismo valor.
[11] Fuente: AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 1: External Combustion Sources 1.3 Fuel Oil Combustion https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch03/final/c03s04.pdf

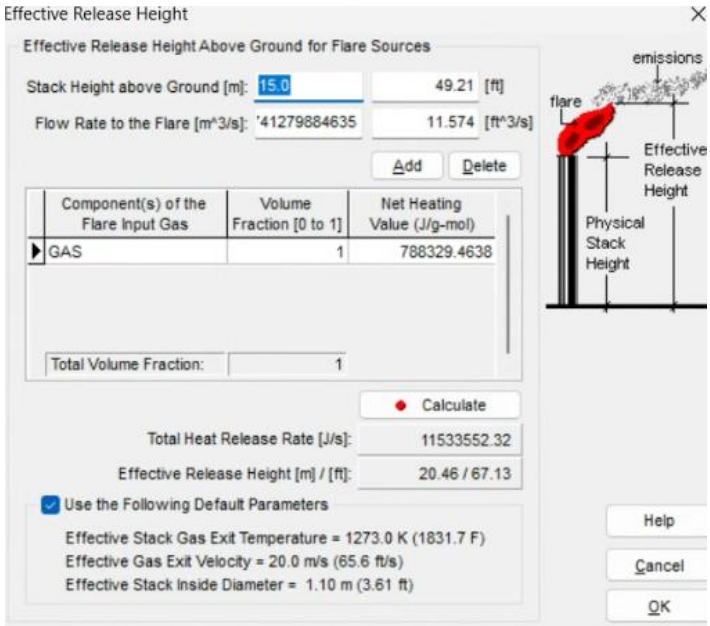


Figura 4-2 Características de Tea ingresadas al algoritmo de pseudo chimenea en AERMOD View. Fuente: SGI S.A.S, 2025.

4.7.1.1.2.3 Fuentes lineales

La **Figura 4-3** expone el modelo conceptual de las emisiones de las fuentes lineales, las cuales incluirán las emisiones por fuentes móviles (Em) y las emisiones por resuspensión de material particulado proveniente de la vía (Er) las cuales incluyen la perdida de partículas por desgaste de frenos y neumáticos de los vehículos.

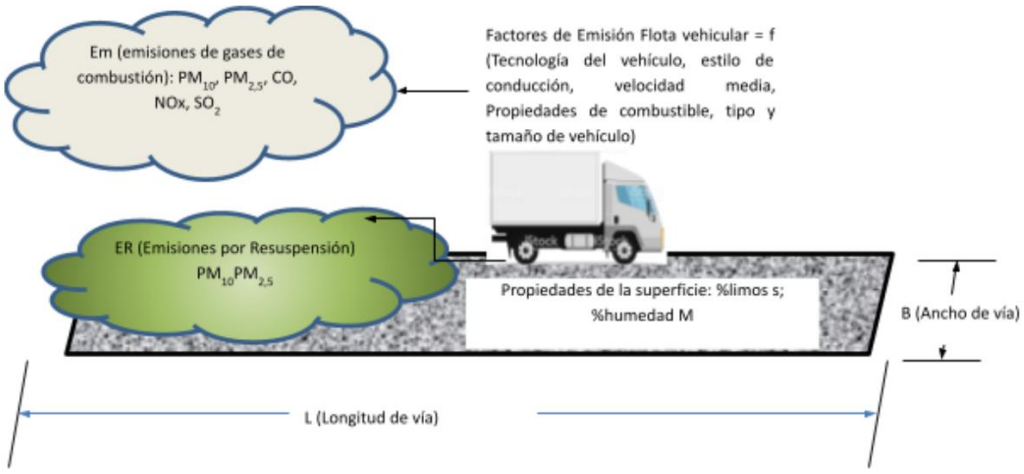


Figura 4-3 Modelo conceptual para fuentes de emisión lineales. Fuente: SGI S.A.S, 2025

Las emisiones totales ELi por fuente lineal se calculan como:

$$E_{Li} = Em_i + Er_i$$

Donde:

ELi= Flujo másico de contaminante i a la atmósfera proveniente de la fuente línea del contaminante i (g/s).

Eri= Emisión de la fuente línea por Resuspensión de material de la vía del contaminante i (g/s).
Emi= Emisiones del contaminante i en gases de combustión de fuentes móviles. (g/s).

Las emisiones de la fuente lineal referidas al área de la vía, las cuales se alimentarán al AERMOD se calculan como:

$$\mathbf{E'_i =} E_i / A_{op}$$

Donde:

E'i = Flujo másico de contaminante i a la atmosfera o Emisión de la fuente línea del contaminante por unidad de área i (g/s m2).
Ei= Flujo másico de contaminante i a la atmosfera o Emisión de la fuente línea del contaminante i (g /s).
Aop = Área donde se desarrolla la actividad que genera las descargas de contaminantes a la atmosfera (m2).

La emisión por resuspensión Er por definición se calcula como:

$$Eri = FEri * Far$$

Donde:

FEri = Factor de emisión para el contaminante i por resuspensión = Eext.
FAr = Factor de actividad de la vía para emisiones por resuspensión (V km/día).
Eext= Factor de emisión especifico extrapolado por mitigación natural para resuspensión en vías.

El factor de actividad de la vía se define en función de la flota vehicular V expresada en vehículos día (V/día) y la longitud de la vía L (km).

$$FAr = V * L * T$$

Donde:

FA: Factor de actividad (V km/día).
V= Vehículos por unidad de tiempo, V/día.
L= longitud de la vía, km.

T= Cantidad de trayectos o de viajes por vehículo sobre la base de cálculo de un día.

La emisión por fuentes móviles se calcula como:

$$Em_i = \sum_{k=1}^{n} FE_{i,k} * FA_{m\ k}$$

Donde:

Emi= Emisiones del contaminante i en gases de combustión de fuentes móviles. (g/s).
FEmi, k = Factor de emisión para el contaminante i por fuentes móviles para la categoría de vehículos k (g/km).
FAm = Factor de actividad de la vía para fuentes móviles (km).

Las unidades de tiempo se manejan considerando únicamente tiempos efectivos de operación de la vía de la siguiente forma:

$$t_{op}\left(s/año_{op}\right) = \frac{mes_{Act}}{Año_{Op}} * \frac{sem_{Act}}{mes_{Act}} * \frac{dia_{Act}}{Sem_{Act}} * \frac{h_{Act}}{dia_{Act}} * \frac{3600\ s}{h_{Act}}$$

Donde:

t_{op}= Tiempo efectivo de operación al año expresado en segundos.
mes_{act}= Numero de meses al año en los que se desarrolla la actividad.
sem_{act} /Año Op= Numero de semana al mes en los que se desarrolla la actividad.
día $_{Act}$ /sem $_{Act}$ = Número de Días a la semana los que se desarrolla la actividad.
h_{Act}/dia $_{Act}$= Horas diarias en las que se desarrolla la actividad (turno).

En forma alternativa el tiempo se podrá expresar en diferentes unidades, considerando siempre el concepto de tiempo efectivo de operación para establecer los factores de conversión, en lugar de los factores de conversión temporal ordinarias.

El factor de actividad se estima como:

$$FA_{m\ k}=L*V_k*T$$

Donde:

$FA_{m\ k}$= Factor de actividad de la vía para fuentes móviles de la categoría K (km).
L= Longitud de la vía (km).
Vk= Vehículos de la categoría k (Adimensional).
T= Cantidad de viajes promedio de los vehículos sobre la vía de longitud L (Adimensional).

4.7.1.1.2.3.1 Factores de emisión por resuspensión

El cálculo de la emisión por resuspensión en vías involucra la medición de variables en campo como humedad y contenido de limos de las vías. Cuando no se cuenta con datos de campo para estas variables, se emplea valores por defecto citados en la literatura, aunque se aconseja que estos datos sean recogidos en campo para las vías objeto de caracterización y analizados en laboratorio. Para el presente estudio, no se cuenta con valores de humedad y contenido de limos de las vías. Por ello, para el contenido de humedad de vías públicas destapadas, se empleará un valor por defecto de 0.5%, de acuerdo con las recomendaciones de (US EPA, 2006) en el documento titulado “AP-42: Compilation of Air Emissions Factors, Section 13.2.2 Unpaved Roads 2006”. De igual manera, para el contenido de limos de vías públicas destapadas se adoptará un valor de 6.4% siguiendo las recomendaciones de (US EPA, 1998) en el documento “Emission Factor Documentation for AP-42 Section 13.2.2. Unpaved Roads. Final Report”.

Los factores de emisiones por resuspensión de partículas de vías destapadas se calculan por implementación de la correlación reportada por la US EPA en “AP-42: Compilation of Air Emissions Factors, Section 13.2.2 Unpaved Roads 2006” (Ver **Tabla 4-8**)

$$E_i = \frac{k\left(\frac{s}{12}\right)^a \left(\frac{S}{30}\right)^d}{\left(\frac{M}{0,5}\right)^c} - C$$

Donde:

Ei = Factor de emisión por tamaño de partícula g/VKT
s = Contenido de limos de la superficie de la carretera12 (%)
W = peso medio de la flota vehicular (t)
M = Contenido de humedad de la superficie13 (%)
S = velocidad media de los vehículos (km/h)
C = factor de emisión para vehículos de 1980 por desgaste de frenos y neumáticos (g/VKT)
K, a, d, c son constantes de finidas en función del tamaño de partícula.

Tabla 4-8 Constantes para cálculo de emisiones por resuspensión

CONSTANTE	SITIOS INDUSTRIALES			VÍAS PÚBLICAS		
	PM 2.5	PM10	PST	PM 2.5	PM10	PST
k	0,15	1,5	4,9	0,18	1,8	6
a	0,9	0,9	0,7	1	1	1
b	0,45	0,45	0,45	-	-	-
c	-			0,2	0,2	0,3
d	-			0,5	0,5	0,3
C	-	-	-	0,00036	0,00047	0,00047

Fuente: AP42, Section 13.2.2 Unpaved Roads - Updated November 2006
https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0202.pdf

El factor de emisión debe corregirse de acuerdo con el número de días de lluvias del área de estudio ya que la lluvia cumple la función de mitigar las emisiones y reducir los niveles de inmisión. El factor de emisión se extiende para largo plazo mediante la formula.

$$E_{ext} = E((365-P)/365) = FE$$

Donde:

Eext= Factor de emisión especifico extrapolado por mitigación natural, lb/VMT
P = número de días por año con precipitación de al menos 0.254 mm (0.01 in).

A su vez, el factor de corrección por mitigación natural (lluvia) Eext es corregido por un factor de eficiencia que toma en cuenta los sistemas de control de emisiones. Para el caso particular del proyecto, en el escenario 3 se considera sistema de control de emisiones, ya que se tiene proyectada la humectación por riego sobre la vía como sistema de control para la emisión de partículas por resuspensión en vías del área de construcción del proyecto, y, por tanto, y se asume un factor eficiencia de 0.9 con base en las recomendaciones de la Agencia de Protección Ambiental del Condado de San Diego (SanDiegoCounty.gov, 1998). A continuación, se relaciona la ecuación para corrección por eficiencia del control de emisiones:

[12] El contenido de limos para vías no pavimentadas se adopta del valor más crítico registrado en los fatos de muestras de humedad recolectados durante actividades de campo, es decir, el valor más alto de limos (IL-25-510-V1)
[13] El contenido de humedad para vías no pavimentadas se adopta del valor más crítico registrado en los fatos de muestras de humedad recolectados durante actividades de campo, es decir, el valor más bajo de humedad (IL-25-510-V1)

$$E=E_{Ext}*(1-e)$$

Donde:

Eext= Factor de emisión especifico extrapolado por mitigación natural, lb/VMT
e= Factor de eficiencia del control de emisiones (0.8).

Por otro lado, los factores de emisiones por resuspensión de partículas de las vías pavimentadas vía se calculan por implementación de la correlación reportada por la US EPA en "AP-42: Compilation of Air Emissions Factors, Section 13.2.1 Paved Roads 2011" (Ver **Tabla 4-9**):

$$E_i=k\ (sL)^{0,91}(W)^{1,02}$$

Donde:

Ei = Factor de emisión por tamaño de partícula g/VKT
sL = Contenido de limos de la superficie de la carretera (g/m2)
W = peso medio de la flota vehicular (t)
K, constantes definidas en función del tamaño de partícula.

Tabla 4-9 Constantes para cálculo de emisiones por resuspensión.

TAMAÑO DE PARTÍCULA	SITIOS INDUSTRIALES		
	g/VKT	g/VMT	lb/VMT
PM 2,5	0,15	0,25	0,00054
PM 10	0,62	1,00	0,0022
PM 15	0,77	1,23	0,0027
PM 30	3,23	5,24	0,011

Fuente: AP42, Section 13.2.1 Paved Roads - Updated November 2011
https://www.epa.gov/sites/production/files/2020-10/documents/13.2.1_paved_roads.pdf

4.7.1.1.2.3.2 Factores de emisión por fuentes móviles

Para el cálculo de las emisiones de fuentes móviles se utilizan factores de emisión simplificados reportados por el "HANDBOOK OF AIR QUALITY MANAGEMENT para países en vías de desarrollo (Ver **Tabla 4-10**), considerando tecnologías sin control. Lo anterior considerando una ausencia de información de caracterización de la flota vehicular de la región objeto de estudio, en términos de tecnología, patrones de conducción y factores particulares de las rutas regionales.

Tabla 4-10 Factores de emisión para fuentes móviles en países en vías de desarrollo.

FACTOR TOTAL DE EMISIÓN (G/KM)				
Tecnología de vehículo	CO	HC	NOx	PM
Vehículo de pasajeros carburado gasolina, sin control.	60,3	6,07	3,02	0,004
Vehículo de pasajeros carburado a gasolina, con control catalítico.	41,19	2,46	2,10	0,004
Vehículo con inyección de combustible, sin control.	57,57	7,39	3,8	0,004
Vehículo con inyección de combustible, con control catalítico.	22,45	1,86	1,71	0,004
Motocicleta gasolina de dos ciclos.	26,57	7,89	0,05	0,282
Motocicleta a gasolina de cuatro ciclos.	12,71	1,7	0,31	0,076

FACTOR TOTAL DE EMISIÓN (G/KM)				
Busco camión carburado a gasolina, sin control.	44,23	2,62	1,82	0,037
Vehículo diésel, carga liviana, sin control.	0,85	0,38	0,92	0,09
Vehículos diésel, carga liviana, con filtro catalítico de mp.	0,17	0,077	0,92	0,009
Bus o camión diésel, sin control.	7,2	1,22	5,45	0,169
Bus hubo camión diésel, control DOC.	1,44	0,24	5,45	0,118
Bus o camión diésel, con filtro, catalítico de mp.	0,67	0,2	1,51	0,017

Fuente: Manual de Gestión de Calidad del Aire, Capitulo 6, Sección 6.2, Tabla 3.2.2-1 http://www.aqbook.org/

4.7.1.2 Inventario de emisiones atmosféricas

En esta sección se muestran los resultados de la estimación de las emisiones atmosféricas ingresadas al modelo de dispersión de contaminantes atmosféricas en el escenario más crítico asociado a la fase constructiva y operativa del proyecto.

4.7.1.2.1 Inventario de emisiones atmosféricas escenario 2

A continuación, se presenta el inventario de emisiones correspondiente al escenario de modelación sin medidas de control del proyecto bajo condiciones proyectadas. Este considera las emisiones generadas por las operaciones de construcción, el movimiento de material granular, la operación de equipos, las actividades de perforación, las vías y las fuentes móviles (Ver **Tabla 4-11**). En este escenario se integran tanto las fuentes de emisión de la línea base como las fuentes adicionales proyectadas para las etapas de construcción y operación, con el fin de representar de manera más completa las condiciones de emisión esperadas durante el desarrollo del proyecto.

Tabla 4-11 Inventario de emisiones atmosféricas para el escenario de construcción y operación sin medidas de control

APORTE	EMISIONES TON/AÑO				
	PM 2.5	PM10	SO2	NOx	CO
Vías	188,64	1617,84	5,34	107,81	907,53
Construcción	184,03	601,49	1,81	81,76	27,00
Actividades de Construcción, Mejoramiento y Rehabilitación de vías	9,83	32,95	0,17	7,64	2,52
Teas	0,03	0,03	0,00	1,18	5,39
Operación de Equipos CPF, Plataformas y Facilidades	3,63	2,28	0,06	40,79	26,65
Operación Áreas CPF y Plataformas	0,14	0,56	0,02	1,10	0,36
Operación Áreas de Apoyo	0,92	0,92	0,33	14,68	4,85
Total	387,23	2256,07	7,74	254,96	974,30
Participación Vías (%)	48,7	71,7	69,0	42,3	93,1
Participación Construcción (%)	47,5	26,7	23,4	32,1	2,8
Participación Actividades de Construcción, Mejoramiento y Rehabilitación de vías (%)	2,5	1,5	2,2	3,0	0,3
Participación Teas (%)	0,0	0,0	0,0	0,5	0,6
Participación Operación de Equipos CPF, Plataformas y Facilidades (%)	0,9	0,1	0,8	16,0	2,7
Participación Operación Áreas CPF y Plataformas (%)	0,0	0,0	0,3	0,4	0,0

APORTE	EMISIONES TON/AÑO				
	PM 2.5	PM10	SO2	NOx	CO
Participación Operación Áreas de Apoyo (%)	0,2	0,0	4,2	5,8	0,5
Participación Total (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fuente: SGI S.A.S, 2025.

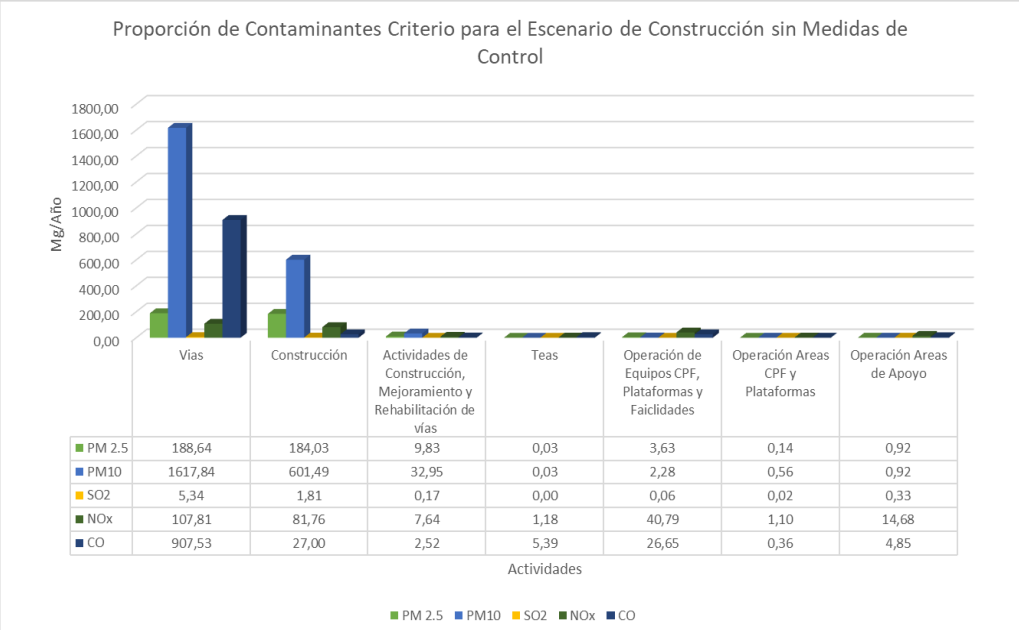


Figura 4-4 Inventario de Emisiones Escenario 2
Fuente: SGI S.A.S, 2025.

La **Figura 4-4** muestra el inventario de emisiones correspondiente al escenario de modelación sin medidas de control bajo condiciones proyectadas, en donde se indica que las emisiones totales anuales alcanzan 387,23 toneladas de PM2.5, 2256,07 toneladas de PM10, 7,74 toneladas de SO_2, 254,96 toneladas de NO_x y 974,30 toneladas de CO. Los resultados muestran que las vías constituyen la fuente predominante para la mayoría de los contaminantes, especialmente para PM10 (71,7 %), PM2.5 (48,7 %), SO_2 (69,0 %) y CO (93,1 %), lo cual evidencia que el tránsito vehicular y la resuspensión de polvo son los principales aportes al total de emisiones.

Las actividades de construcción también presentan una participación importante, con aportes del 47,5 % en PM2.5 y 26,7 % en PM10, lo que refleja su relevancia en la generación de material particulado, junto con una contribución del 32,1 % en NO_x, asociada al uso de maquinaria y equipos durante las obras. Las actividades de construcción, mejoramiento y rehabilitación de vías aportan valores menores, entre 1,5 % y 3,0 %, representando fuentes complementarias dentro del balance total.

En cuanto a los óxidos de nitrógeno (NO_x), además de las actividades de construcción, destaca la operación de equipos del CPF, plataformas y facilidades, con una participación del 16,0 %, lo que indica que esta etapa operativa contribuye significativamente a las emisiones de gases provenientes de la combustión interna. Las áreas de apoyo también aportan de manera moderada en este contaminante (5,8 %).

Por su parte, las teas, áreas CPF y plataformas, y otras fuentes menores representan porcentajes muy bajos en la mayoría de los contaminantes, sin un impacto significativo sobre el total anual. En conjunto, los resultados muestran que el material particulado (PM10 y PM2.5) y el monóxido de carbono (CO) son los contaminantes más relevantes, con predominio de las vías como fuente principal, seguidas por las actividades de construcción.

4.7.1.3 Fuentes de emisiones atmosféricas contempladas para el permiso de emisiones atmosféricas

En esta sección se presentan las fuentes contempladas en el modelo de dispersión para el escenario crítico y que, a su vez, son consideradas para solicitar permiso de emisiones, teniendo en cuenta lo siguiente:

- ✓ Para el modelo de dispersión se consideró un escenario de operación crítico en términos de cantidad máxima de áreas a intervenir en un año, sin embargo, la cantidad final de fuentes proyectada en la vida útil del proyecto (15 años) es mayor a las contempladas en el modelo, en el sentido que habrá más plataformas al finalizar la fase de construcción del cronograma del proyecto.
- ✓ La ubicación definitiva de estas fuentes variará, dependiendo de la viabilización obtenida a partir de la zonificación de manejo ambiental, por ende, la información sobre ubicación de los equipos, volumen de combustible utilizado y demás información relevante de carácter final, será entregada a la ANLA mediante los Informes de Cumplimiento Ambiental – ICA.

Teniendo en cuenta lo anterior, las fuentes a las cuales se les solicitará permiso de emisiones son las siguientes:

Tabla 4-12 Fuentes fijas a requerir permiso de emisiones

FUENTE	CAPACIDAD MÁXIMA PROYECTADA	COMBUSTIBLE	ACTIVIDAD ASOCIADA	CANTIDAD POR ÁREA DE INTERVENCIÓN
TEA	1000000 MMSFCD	Gas	Operación de plataformas de perforación	1
Unidad de generación de energía eléctrica 1	500 Kw	Diesel		1
Unidad de generación de energía eléctrica 2	500 Kw	Diesel		1
Generador de taladro de perforación 1	1250 Kw	Diesel		1
Generador de taladro de perforación 2	1250 Kw	Diesel		1
Generador de taladro de perforación 3	1250 Kw	Diesel		1
Tea CPF	1000000 MMSFCD	Gas	Operación CPF	1

Fuente: SGI S.A.S 2025

Teniendo en cuenta lo expuesto en la **Tabla 4-12**, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- ✓ Durante la vida útil del proyecto, se proyecta la construcción y operación de hasta 16 plataformas multipozo. En el año más crítico se estiman un total de hasta 4 plataformas multipozo, cada una con las fuentes fijas expuestas en la **Tabla 4-12** para las actividades de operación de plataformas de perforación.
- ✓ Durante la vida útil del proyecto, se proyecta la construcción y operación de hasta 3 facilidades satélite. En el año más crítico se estiman un total de hasta 1 facilitad satélite, cada una con las fuentes fijas expuestas en la **Tabla 4-12** para las actividades de operación de facilidad satélite.
- ✓ La operación de los equipos diferentes a Teas, para el CPF será continua una vez se empiece la fase de operación del proyecto.

- ✓ Las Teas solamente operarán cuando sea necesario la liberación de Gas durante la fase operacional, tanto a nivel de plataforma y CPF.
- ✓ La operación de los equipos que en la fase de perforación tales como generadores que acompañan los taladros no operarán de manera simultánea y solamente estarán hasta finalizar la fase de perforación.
- ✓ La operación de los equipos de energía eléctrica podrá verse reducida con el ingreso de la operación al parque solar.

4.7.1.4 Modelación de aire

El presente modelo muestra la conceptualización, desarrollo, resultados de ejecución y análisis de los resultados del modelo de dispersión, los cuales se efectuaron mediante simulación asistida por computador tomando como insumo el inventario de emisiones proyectado del Área de Desarrollo Bucare en su construcción y operación durante un año crítico, junto con las condiciones consideradas como típicas en términos de meteorología, topografía y de concentraciones de fondo de los contaminantes evaluados en la región, para los escenarios de línea base y construcción del proyecto (con y sin medidas de control) en cumplimiento a lo indicado por los Términos de Referencia indicados por la autoridad ambiental HI-TER-1-03 y reglamentados mediante la resolución 1543 de 2010, así como lo establecido por la MGEPEA 2018, los resultados completos del modelo se pueden consultar en el **Anexos/Anexo Abiótico/ 5.8 Atmósfera/ 5.8.4 Informes Modelaciones Dispersión y Ruido**.

4.7.1.4.1 Fuentes de emisiones atmosféricas

Para la elaboración del modelo se consideraron tanto las vías que actualmente generan emisiones atmosféricas como los equipos proyectados para las fases de construcción y operación del proyecto. Se tuvieron en cuenta las fuentes móviles, la maquinaria y el equipo interno asociados al movimiento de materiales, al transporte de personal y a las actividades de construcción, perforación y producción.

4.7.1.4.1.1 Fuentes de emisión para el Escenario 1

Las fuentes de emisiones atmosféricas presentes en el área de interés se categorizaron como lineales para la línea base. Las memorias de cálculo correspondientes a cada fuente de acuerdo con sus características se presentan en el **Anexo 1**.

La **Tabla 4-13** presenta el resumen de las fuentes lineales contempladas en la línea base que fueron caracterizadas mediante los informes de aforo vehicular localizados en la ruta **Anexo/ 5. Anexo Abiótico/5.8 Atmósfera/ 5.8.3 Aforo Vehicular**, las cuales representan vías existentes de interés para el proyecto.

Tabla 4-13 Fuentes lineales de emisión escenario de línea Base

TIPO DE ENTIDAD	ID	DESCRIPCIÓN	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL			
			INICIO		FIN	
			ESTE (m)	NORTE (m)	ESTE (m)	NORTE (m)
LINE_AREA	ARLN1	V3	4928754,48	1990215,47	4928764,90	1990213,36
LINE_AREA	ARLN10	V3.9.1	4937036,43	1991364,90	4937055,96	1991396,88
LINE_AREA	ARLN11	V3.10A	4939161,09	1989400,59	4939163,64	1989402,77
LINE_AREA	ARLN12	V3.10.1	4938973,51	1989257,76	4938984,66	1989218,62
LINE_AREA	ARLN13	V3.10.2.1	4939857,72	1989547,73	4939871,62	1989587,54
LINE_AREA	ARLN14	V3.8	4935281,71	1988689,08	4935289,12	1988665,63
LINE_AREA	ARLN15	V3.7A	4934832,09	1988240,99	4934817,95	1988223,15

TIPO DE ENTIDAD	ID	DESCRIPCIÓN	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL			
			INICIO		FIN	
			ESTE (m)	NORTE (m)	ESTE (m)	NORTE (m)
LINE_AREA	ARLN16	V3.7.1	4934591,73	1987646,35	4934532,76	1987674,90
LINE_AREA	ARLN17	V3.2.4	4930984,17	1986390,39	4930986,65	1986380,80
LINE_AREA	ARLN18	V3.7.2	4935170,59	1987893,58	4935145,75	1987882,01
LINE_AREA	ARLN19	V3.2	4931809,84	1989596,43	4931797,09	1989567,42
LINE_AREA	ARLN2	V3.1A	4929411,37	1991989,42	4929399,88	1992005,61
LINE_AREA	ARLN20	V3.10.2	4939169,69	1989412,30	4939174,89	1989413,87
LINE_AREA	ARLN21	V3.7.3	4935098,89	1987453,64	4935112,54	1987444,41
LINE_AREA	ARLN22	V3.11	4937398,95	1987562,89	4937369,45	1987506,64
LINE_AREA	ARLN23	V1.4	4931859,78	1999828,12	4931860,37	1999815,53
LINE_AREA	ARLN24	V1.9	4939337,07	1998277,79	4939346,94	1998302,63
LINE_AREA	ARLN25	V1.8	4936869,52	1999115,40	4936868,41	1999145,87
LINE_AREA	ARLN26	V1.7	4935669,48	1999369,63	4935669,46	1999348,50
LINE_AREA	ARLN27	V1.7.1	4936075,16	1998953,55	4936065,72	1998938,24
LINE_AREA	ARLN28	V1.1	4930377,95	1999913,62	4930381,73	1999921,17
LINE_AREA	ARLN29	V1.6	4935935,01	1999343,21	4935931,96	1999362,27
LINE_AREA	ARLN3	V3.1.2A	4930441,84	1994751,32	4930447,40	1994742,52
LINE_AREA	ARLN30	V1.6.1	4935822,54	1999638,42	4935813,93	1999642,91
LINE_AREA	ARLN31	V1.2	4931248,97	1999888,67	4931251,20	1999907,15
LINE_AREA	ARLN32	V1.3A	4932140,32	1999905,02	4932139,51	1999908,46
LINE_AREA	ARLN33	V1.4.1	4931860,60	1999807,70	4931834,19	1999797,96
LINE_AREA	ARLN34	V1.4.2	4931861,07	1999800,60	4931872,82	1999802,01
LINE_AREA	ARLN35	V1.4.2.1	4932127,85	1999686,07	4932129,63	1999657,61
LINE_AREA	ARLN36	V1.4.2.2	4932376,82	1999601,95	4932379,76	1999569,11
LINE_AREA	ARLN37	V1.5	4933613,28	1999618,55	4933612,46	1999641,59
LINE_AREA	ARLN38	V1.10	4940011,87	1997906,34	4939922,67	1997763,36
LINE_AREA	ARLN39	V1.7.3	4937176,10	1996376,77	4937177,68	1996372,64
LINE_AREA	ARLN4	V3.1.2.2	4931678,06	1994036,95	4931689,46	1994028,70
LINE_AREA	ARLN40	V1A	4927895,97	2001121,89	4927896,16	2001121,80
LINE_AREA	ARLN41	V1.7.2	4936998,52	1997710,54	4937050,66	1997687,11
LINE_AREA	ARLN42	V2	4923817,13	1997884,87	4923817,39	1997884,78
LINE_AREA	ARLN43	V2.10.1	4930452,71	1995815,76	4930443,59	1995824,90
LINE_AREA	ARLN44	V2.10	4930431,96	1995744,50	4930435,24	1995754,28
LINE_AREA	ARLN45	V2.11.3	4931132,84	1998109,03	4931165,25	1998103,55
LINE_AREA	ARLN46	V2.14.3.1	4934041,90	1997357,24	4934032,90	1997429,34
LINE_AREA	ARLN47	V2.14	4935558,35	1999380,80	4935564,60	1999356,92
LINE_AREA	ARLN48	V2.14.5	4935630,65	1998441,89	4935620,97	1998433,03
LINE_AREA	ARLN49	V2.11.2.1	4932127,08	1997070,02	4932139,14	1997096,69
LINE_AREA	ARLN5	V3.1.2.1	4931586,68	1994298,34	4931587,18	1994301,30

TIPO DE ENTIDAD	ID	DESCRIPCIÓN	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL			
			INICIO		FIN	
			ESTE (m)	NORTE (m)	ESTE (m)	NORTE (m)
LINE_AREA	ARLN50	V2.11.2	4930960,02	1996285,64	4930955,90	1996286,12
LINE_AREA	ARLN51	V2.12A	4930929,44	1995654,18	4930950,30	1995628,98
LINE_AREA	ARLN52	V2.19	4940975,12	1992809,85	4940969,17	1992792,50
LINE_AREA	ARLN53	V2.16	4939625,78	1993586,61	4939631,63	1993609,68
LINE_AREA	ARLN54	V2.17.4	4939144,95	1994810,88	4939130,56	1994773,76
LINE_AREA	ARLN55	V2.17.2	4940000,43	1994035,45	4940007,23	1994043,19
LINE_AREA	ARLN56	V2.20	4942018,96	1991951,52	4942011,82	1991943,08
LINE_AREA	ARLN57	V2.20.1	4941890,75	1991776,28	4941848,61	1991809,53
LINE_AREA	ARLN58	V2.11.1	4930800,20	1995701,67	4930819,74	1995691,47
LINE_AREA	ARLN59	V2.13	4934247,30	1995437,32	4934254,71	1995478,52
LINE_AREA	ARLN6	V3.5A	4932806,92	1989386,79	4932817,23	1989408,58
LINE_AREA	ARLN60	V2.15	4937920,58	1994632,03	4937952,00	1994679,08
LINE_AREA	ARLN61	V2.14.2	4935814,90	1997677,65	4935823,82	1997675,67
LINE_AREA	ARLN62	V2.14.1	4936578,62	1997361,90	4936603,11	1997378,52
LINE_AREA	ARLN63	V2.1	4923817,39	1997884,78	4923827,71	1997900,02
LINE_AREA	ARLN64	V2.14.4	4935665,02	1998293,68	4935670,17	1998296,36
LINE_AREA	ARLN65	V2.17.3	4939795,12	1994213,95	4939802,75	1994220,99
LINE_AREA	ARLN66	V2.14.3	4933332,69	1997500,55	4933398,43	1997487,41
LINE_AREA	ARLN67	V2.10.2	4930618,37	1996688,07	4930615,37	1996686,08
LINE_AREA	ARLN68	V2.11	4930794,31	1995676,16	4930799,35	1995683,79
LINE_AREA	ARLN69	V2.11.1.1	4931653,72	1995573,92	4931664,67	1995563,91
LINE_AREA	ARLN7	V3.5.1	4933510,37	1991042,25	4933520,95	1991057,59
LINE_AREA	ARLN70	V2.11.1.2	4932908,83	1995186,86	4932912,52	1995189,40
LINE_AREA	ARLN71	V2.17A	4939795,12	1994213,95	4939777,12	1994230,89
LINE_AREA	ARLN72	V2.17.1	4940386,22	1993571,16	4940391,97	1993567,01
LINE_AREA	ARLN73	V2.18A	4941807,06	1993991,27	4941808,24	1993975,57
LINE_AREA	ARLN74	V2.19.1	4940814,96	1992444,59	4940813,14	1992431,45
LINE_AREA	ARLN75	V1B	4931622,16	1999856,61	4931680,86	1999848,70
LINE_AREA	ARLN76	V1.3B	4932247,55	1999779,86	4932251,70	1999785,40
LINE_AREA	ARLN77	V2.12B	4933315,52	1994894,50	4933326,50	1994904,79
LINE_AREA	ARLN78	V2.17B	4940261,49	1993373,45	4940264,62	1993381,09
LINE_AREA	ARLN79	V2.18B	4941807,06	1993991,27	4941805,72	1994009,27
LINE_AREA	ARLN8	V3.5.2	4935608,06	1992825,68	4935612,18	1992841,79
LINE_AREA	ARLN80	V3.1B	4928764,90	1990213,36	4928770,79	1990238,05
LINE_AREA	ARLN81	V3.1.2B	4931302,06	1992064,99	4931301,16	1992060,78
LINE_AREA	ARLN82	V3.10B	4937159,84	1987702,78	4937175,89	1987730,79
LINE_AREA	ARLN83	V3.7B	4935140,10	1988687,93	4935119,05	1988645,42
LINE_AREA	ARLN9	V3.9	4935677,74	1988571,53	4935684,95	1988591,13

Fuente: SGI S.A.S, 2025

4.7.1.4.1.2 Fuentes de emisión para el Escenario 2 y 3

Para este escenario se mantienen las mismas fuentes de emisión consideradas en el escenario 1; no obstante, no se aplican las medidas de control previstas por el proyecto, como el riego de las vías internas. De esta manera, se configura un escenario crítico en términos de descarga de emisiones contaminantes a la atmósfera. La **Tabla 4-14** presenta las nuevas fuentes fijas puntuales y de área, mientras que la **Tabla 4-15** presenta las nuevas fuentes lineales.

Tabla 4-14 Fuentes fijas de área

TIPO DE ENTIDAD	ID	DESCRIPCIÓN	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL	
			ESTE (m)	NORTE (m)
AREA_POLY	PAREA1	Construcción CPF	4930860,52	1998559,57
AREA_POLY	PAREA2	Construcción Área No Industrial	4929809,29	1998325,78
AREA_POLY	PAREA3	Construcción Área de Apoyo	4938467,96	1998328,53
AREA_POLY	PAREA4	Construcción Plataforma	4939625,57	1997912,42
AREA_POLY	PAREA5	Construcción Plataforma	4935239,4	1998424,62
AREA_POLY	PAREA6	Construcción Plataforma	4940793,99	1992931,92
AREA_POLY	PAREA7	Construcción Plataforma	4937443,94	1988840,29
AREA_POLY	PAREA8	Construcción Parque Solar	4938880,25	1989892,61
AREA_POLY	PAREA9	Construcción Facilidad Satélite	4932981,79	1993601,26
AREA_POLY	PAREA10	Construcción CD CM	4936888,25	1990891,13
AREA_POLY	PAREA11	Construcción ZODME	4937200,69	1995711,27
AREA	AREA1	ZODME CPF	4931383,79	1998255,21
AREA	AREA2	ZODME Plataforma	4935026,66	1998062,22
AREA	AREA3	ZODME Plataforma	4939536,09	1997562,55
AREA	AREA4	ZODME Plataforma	4940890,71	1992721,04
AREA	AREA5	ZODME Plataforma	4937741,77	1988682,24
AREA	AREA6	MULTIPOZO	4939545,51	1997756,48
AREA	AREA7	MULTIPOZO	4940717,25	1992722,72
AREA	AREA8	MULTIPOZO	4937522,21	1988685,34
AREA	AREA9	MULTIPOZO	4935088,69	1998246,52
FLARE	FLARE2	TEA	4939747,89	1997718,15
FLARE	FLARE1	TEA	4940797,71	1992910,52
FLARE	FLARE3	TEA	4937451,5	1988830,47
FLARE	FLARE4	TEA	4935295,6	1998238,68
FLARE	FLARE 5	TEA	4931487,61	1998062.97
POINT	STCK1	Separador Trifásico 1 CPF	4930896,9	1998142,86
POINT	STCK2	Separador Trifásico 2 CPF	4930905,12	1998212,59
POINT	STCK3	Separador Trifásico 3 CPF	4930912,24	1998274,88
POINT	STCK4	Separador Trifásico 4 CPF	4930915,94	1998322,79
AREA	AREA10	ZODME OPERACION CPF	4931384,11	1998254,44
AREA_POLY	PAREA12	ZODME CENTRAL OPERACION	4936953,84	1995416,99
POINT	STCK5	Caldera CPF	4931087,94	1998108,78

TIPO DE ENTIDAD	ID	DESCRIPCIÓN	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL	
			ESTE (m)	NORTE (m)
POINT	STCK6	Separador Trifásico 1 Facilidad Satélite	4933145,77	1993498,25
POINT	STCK7	Separador Trifásico 2 Facilidad Satélite	4933135,75	1993535,42
POINT	STCK8	Separador Trifásico 3 Facilidad Satélite	4933122,28	1993575,6
POINT	STCK9	Generador 500Kw 1 Plataforma	4935178,79	1998166,52
POINT	STCK10	Generador 500Kw 2 Plataforma	4935167,01	1998159,7
POINT	STCK11	Generador 1250Kw 1 Plataforma	4935188,49	1998172,4
POINT	STCK12	Generador 1250Kw 2 Plataforma	4935199,84	1998180,62
POINT	STCK13	Generador 1250Kw 3 Plataforma	4935211,3	1998188
POINT	STCK14	Generador 500Kw 2 Plataforma	4939645,55	1997647,16
POINT	STCK15	Generador 1250Kw 1 Plataforma	4939667,03	1997659,86
POINT	STCK16	Generador 1250Kw 2 Plataforma	4939678,39	1997668,08
POINT	STCK17	Generador 1250Kw 3 Plataforma	4939689,85	1997675,46
POINT	STCK18	Generador 500Kw 1 Plataforma	4939657,33	1997653,98
POINT	STCK19	Generador 500Kw 2 Plataforma	4940832,15	1992655,19
POINT	STCK20	Generador 1250Kw 1 Plataforma	4940848,28	1992674,23
POINT	STCK21	Generador 1250Kw 2 Plataforma	4940856,32	1992685,71
POINT	STCK22	Generador 1250Kw 3 Plataforma	4940864,73	1992696,44
POINT	STCK23	Generador 500Kw 1 Plataforma	4940841,04	1992665,49
POINT	STCK24	Generador 500Kw 2 Plataforma	4937564,16	1988799,49
POINT	STCK25	Generador 1250Kw 1 Plataforma	4937588,74	1988795,18
POINT	STCK26	Generador 1250Kw 2 Plataforma	4937602,71	1988794,04
POINT	STCK27	Generador 1250Kw 3 Plataforma	4937616,22	1988792,2
POINT	STCK28	Generador 500Kw 1 Plataforma	4937577,54	1988797,02
AREA_POLY	PAREA13	Operación Área No Industrial	4929751,82	1998047,24
AREA_POLY	PAREA14	Operación área de Apoyo	4938468,12	1998328,43

Fuente: SGI S.A.S, 2025

Tabla 4-15 Fuentes lineales de emisión escenario constructivo sin medidas de control

TIPO DE ENTIDAD	ID	DESCRIPCIÓN	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL			
			INICIO		FIN	
			ESTE (m)	NORTE (m)	ESTE (m)	NORTE (m)
LINE_AREA	ARLN84	Mej, Rehab V3.7.2	4935170,59	1987893,58	4935145,75	1987882,01
LINE_AREA	ARLN85	Mej, Rehab V3	4928754,48	1990215,47	4928764,9	1990213,36
LINE_AREA	ARLN86	Mej, Rehab V3.1A	4929411,37	1991989,42	4929399,88	1992005,61
LINE_AREA	ARLN87	Mej, Rehab V3.1.2A	4930441,84	1994751,32	4930447,4	1994742,52
LINE_AREA	ARLN88	Mej, Rehab V3.1.2.2	4931678,06	1994036,95	4931689,46	1994028,7
LINE_AREA	ARLN89	Mej, Rehab V3.1.2.1	4931586,68	1994298,34	4931587,18	1994301,3
LINE_AREA	ARLN90	Mej, Rehab V3.5A	4932806,92	1989386,79	4932817,23	1989408,58

TIPO DE ENTIDAD	ID	DESCRIPCIÓN	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL			
			INICIO		FIN	
			ESTE (m)	NORTE (m)	ESTE (m)	NORTE (m)
LINE_AREA	ARLN91	Mej, Rehab V3.5.1	4933510,37	1991042,25	4933520,95	1991057,59
LINE_AREA	ARLN92	Mej, Rehab V3.5.2	4935608,06	1992825,68	4935612,18	1992841,79
LINE_AREA	ARLN93	Mej, Rehab V3.9	4935677,74	1988571,53	4935684,95	1988591,13
LINE_AREA	ARLN94	Mej, Rehab V3.9.1	4937036,43	1991364,9	4937055,96	1991396,88
LINE_AREA	ARLN95	Mej, Rehab V3.10.2.1	4939857,72	1989547,73	4939871,62	1989587,54
LINE_AREA	ARLN96	Mej, Rehab V3.8	4935281,71	1988689,08	4935289,12	1988665,63
LINE_AREA	ARLN97	Mej, Rehab V3.10.2	4939169,69	1989412,3	4939174,89	1989413,87
LINE_AREA	ARLN98	Mej, Rehab V1.4	4931859,78	1999828,12	4931860,37	1999815,53
LINE_AREA	ARLN99	Mej, Rehab V1.7	4935669,48	1999369,63	4935669,46	1999348,5
LINE_AREA	ARLN100	Mej, Rehab V1.7.1	4936075,16	1998953,55	4936065,72	1998938,24
LINE_AREA	ARLN101	Mej, Rehab V1.4.1	4931860,6	1999807,7	4931834,19	1999797,96
LINE_AREA	ARLN102	Mej, Rehab V1.4.2	4931861,07	1999800,6	4931872,82	1999802,01
LINE_AREA	ARLN103	Mej, Rehab V1.4.2.1	4932127,85	1999686,07	4932129,63	1999657,61
LINE_AREA	ARLN104	Mej, Rehab V1.4.2.2	4932376,82	1999601,95	4932379,76	1999569,11
LINE_AREA	ARLN105	Mej, Rehab V1.10	4940011,87	1997906,34	4939922,67	1997763,36
LINE_AREA	ARLN106	Mej, Rehab V1.7.3	4937176,1	1996376,77	4937177,68	1996372,64
LINE_AREA	ARLN107	Mej, Rehab V1.7.2	4936998,52	1997710,54	4937050,66	1997687,11
LINE_AREA	ARLN108	Mej, Rehab V2	4923817,13	1997884,87	4923817,39	1997884,78
LINE_AREA	ARLN109	Mej, Rehab V2.10.1	4930452,71	1995815,76	4930443,59	1995824,9
LINE_AREA	ARLN110	Mej, Rehab V2.10	4930431,96	1995744,5	4930435,24	1995754,28
LINE_AREA	ARLN111	Mej, Rehab V2.11.3	4931132,84	1998109,03	4931165,25	1998103,55
LINE_AREA	ARLN112	Mej, Rehab V2.14.3.1	4934041,9	1997357,24	4934032,9	1997429,34
LINE_AREA	ARLN113	Mej, Rehab V2.14	4935558,35	1999380,8	4935564,6	1999356,92
LINE_AREA	ARLN114	Mej, Rehab V2.14.5	4935630,65	1998441,89	4935620,97	1998433,03
LINE_AREA	ARLN115	Mej, Rehab V2.11.2.1	4932127,08	1997070,02	4932139,14	1997096,69
LINE_AREA	ARLN116	Mej, Rehab V2.11.2	4930960,02	1996285,64	4930955,9	1996286,12
LINE_AREA	ARLN117	Mej, Rehab V2.12A	4930929,44	1995654,18	4930950,3	1995628,98
LINE_AREA	ARLN118	Mej, Rehab V2.19	4940975,12	1992809,85	4940969,17	1992792,5
LINE_AREA	ARLN119	Mej, Rehab V2.16	4939625,78	1993586,61	4939631,63	1993609,68
LINE_AREA	ARLN120	Mej, Rehab V2.17.4	4939144,95	1994810,88	4939130,56	1994773,76
LINE_AREA	ARLN121	Mej, Rehab V2.17.2	4940000,43	1994035,45	4940007,23	1994043,19
LINE_AREA	ARLN122	Mej, Rehab V2.20	4942018,96	1991951,52	4942011,82	1991943,08
LINE_AREA	ARLN123	Mej, Rehab V2.20.1	4941890,75	1991776,28	4941848,61	1991809,53
LINE_AREA	ARLN124	Mej, Rehab V2.11.1	4930800,2	1995701,67	4930819,74	1995691,47
LINE_AREA	ARLN125	Mej, Rehab V2.13	4934247,3	1995437,32	4934254,71	1995478,52
LINE_AREA	ARLN126	Mej, Rehab V2.15	4937920,58	1994632,03	4937952	1994679,08
LINE_AREA	ARLN127	Mej, Rehab V2.14.2	4935814,9	1997677,65	4935823,82	1997675,67
LINE_AREA	ARLN128	Mej, Rehab V2.14.1	4936578,62	1997361,9	4936603,11	1997378,52

TIPO DE ENTIDAD	ID	DESCRIPCIÓN	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL			
			INICIO		FIN	
			ESTE (m)	NORTE (m)	ESTE (m)	NORTE (m)
LINE_AREA	ARLN129	Mej, Rehab V2.14.4	4935665,02	1998293,68	4935670,17	1998296,36
LINE_AREA	ARLN130	Mej, Rehab V2.17.3	4939795,12	1994213,95	4939802,75	1994220,99
LINE_AREA	ARLN131	Mej, Rehab V2.14.3	4933332,69	1997500,55	4933398,43	1997487,41
LINE_AREA	ARLN132	Mej, Rehab V2.10.2	4930618,37	1996688,07	4930615,37	1996686,08
LINE_AREA	ARLN133	Mej, Rehab V2.11	4930794,31	1995676,16	4930799,35	1995683,79
LINE_AREA	ARLN134	Mej, Rehab V2.11.1.1	4931653,72	1995573,92	4931664,67	1995563,91
LINE_AREA	ARLN135	Mej, Rehab V2.11.1.2	4932908,83	1995186,86	4932912,52	1995189,4
LINE_AREA	ARLN136	Mej, Rehab V2.17A	4939795,12	1994213,95	4939777,12	1994230,89
LINE_AREA	ARLN137	Mej, Rehab V2.17.1	4940386,22	1993571,16	4940391,97	1993567,01
LINE_AREA	ARLN138	Mej, Rehab V2.18A	4941807,06	1993991,27	4941808,24	1993975,57
LINE_AREA	ARLN139	Mej, Rehab V2.19.1	4940814,96	1992444,59	4940813,14	1992431,45
LINE_AREA	ARLN140	Mej, Rehab V1B	4931622,16	1999856,61	4931680,86	1999848,7
LINE_AREA	ARLN141	Mej, Rehab V1.3B	4932247,55	1999779,86	4932251,7	1999785,4
LINE_AREA	ARLN142	Mej, Rehab V2.12B	4933315,52	1994894,5	4933326,5	1994904,79
LINE_AREA	ARLN143	Mej, Rehab V2.17B	4940261,49	1993373,45	4940264,62	1993381,09
LINE_AREA	ARLN144	Mej, Rehab V2.18B	4941807,06	1993991,27	4941805,72	1994009,27
LINE_AREA	ARLN145	Mej, Rehab V3.1.2B	4931302,06	1992064,99	4931301,16	1992060,78
LINE_AREA	ARLN146	Mej, Rehab V3.7B	4935140,1	1988687,93	4935119,05	1988645,42
LINE_AREA	ARLN147	Mej, Rehab V3.10A	4939161,09	1989400,59	4939163,64	1989402,77
LINE_AREA	ARLN148	Mej, Rehab V3.2.4	4930984,17	1986390,39	4930986,65	1986380,8

Fuente: SGI S.A.S, 2025

4.7.1.4.2 Inventario de emisiones atmosféricas

4.7.1.4.2.1 Inventario de emisiones atmosféricas Escenario 1

A continuación, se presenta el inventario de emisiones para el escenario de modelación del proyecto bajo condiciones de línea base, teniendo en cuenta solamente la actividad existente asociada a las vías y fuentes móviles (Ver **Tabla 4-16**).

Tabla 4-16 Inventario de emisiones atmosféricas para el escenario de línea base

APORTE	EMISIONES TON/AÑO				
	PM 2.5	PM10	SO2	NOx	CO
Vías	135,97	1263,43	3,93	83,59	848,78

Fuente: SGI S.A.S, 2025.

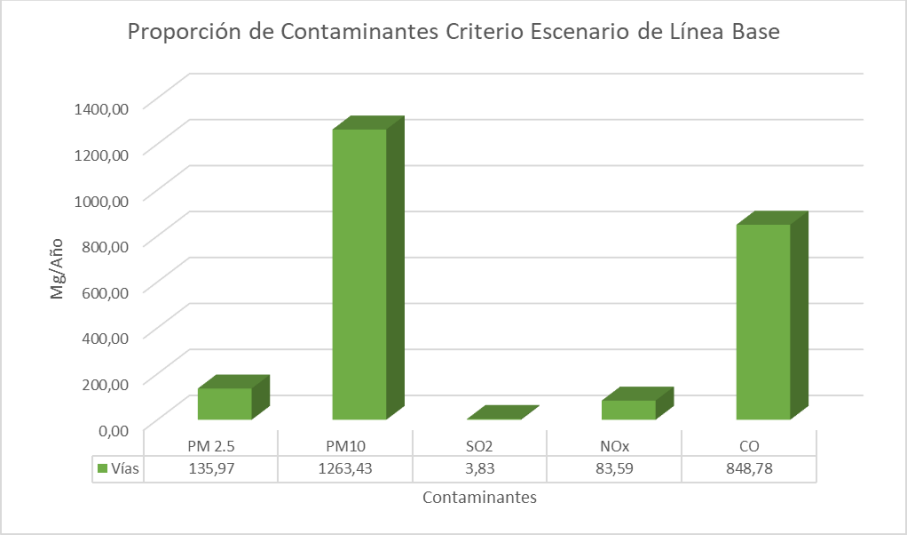


Figura 4-5 Inventario de Emisiones Escenario 1
Fuente: SGI SAS, 2025

La **Figura 4-5** muestra las emisiones anuales de contaminantes criterio generadas por las vías, expresadas en megagramos por año (Mg/año). Se observa que el contaminante con mayor contribución es el PM10, con un valor de 1263,43 Mg/año, lo que indica una fuerte influencia de las emisiones asociadas al tránsito vehicular, especialmente en vías sin pavimentar o con presencia de polvo resuspendido. En segundo lugar, se encuentra el monóxido de carbono (CO), con 848,78 Mg/año, reflejando la presencia de procesos de combustión incompleta en fuentes móviles. El PM2.5 presenta un valor de 135,97 Mg/año, seguido por el NOx (83,59 Mg/año) y el SO_2 (3,83 Mg/año), los cuales exhiben valores significativamente menores.

4.7.1.4.2.2 Inventario de emisiones atmosféricas Escenario 2

A continuación, se presenta el inventario de emisiones correspondiente al escenario de modelación sin medidas de control del proyecto bajo condiciones proyectadas. Este considera las emisiones generadas por las operaciones de construcción, el movimiento de material granular, la operación de equipos, las actividades de perforación, las vías y las fuentes móviles (Ver **Tabla 4-17**). En este escenario se integran tanto las fuentes de emisión de la línea base como las fuentes adicionales proyectadas para las etapas de construcción y operación, con el fin de representar de manera más completa las condiciones de emisión esperadas durante el desarrollo del proyecto.

Tabla 4-17 Inventario de emisiones atmosféricas para el escenario de construcción y operación sin medidas de control

APORTE	EMISIONES TON/AÑO				
	PM 2.5	PM10	SO2	NOx	CO
Vías	188,64	1617,84	5,34	107,81	907,53
Construcción	184,03	601,49	1,81	81,76	27,00
Actividades de Construcción, Mejoramiento y Rehabilitación de vías	9,83	32,95	0,17	7,64	2,52
Teas	0,03	0,03	0,00	1,18	5,39
Operación de Equipos CPF, Plataformas y Facilidades	3,63	2,28	0,06	40,79	26,65
Operación Áreas CPF y Plataformas	0,14	0,56	0,02	1,10	0,36
Operación Áreas de Apoyo	0,92	0,92	0,33	14,68	4,85

APORTE	EMISIONES TON/AÑO				
	PM 2.5	PM10	SO2	NOx	CO
Total	387,23	2256,07	7,74	254,96	974,30
Participación Vías (%)	48,7	71,7	69,0	42,3	93,1
Participación Construcción (%)	47,5	26,7	23,4	32,1	2,8
Participación Actividades de Construcción, Mejoramiento y Rehabilitación de vías (%)	2,5	1,5	2,2	3,0	0,3
Participación Teas (%)	0,0	0,0	0,0	0,5	0,6
Participación Operación de Equipos CPF, Plataformas y Facilidades (%)	0,9	0,1	0,8	16,0	2,7
Participación Operación Áreas CPF y Plataformas (%)	0,0	0,0	0,3	0,4	0,0
Participación Operación Áreas de Apoyo (%)	0,2	0,0	4,2	5,8	0,5
Participación Total (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fuente: SGI S.A.S, 2025.

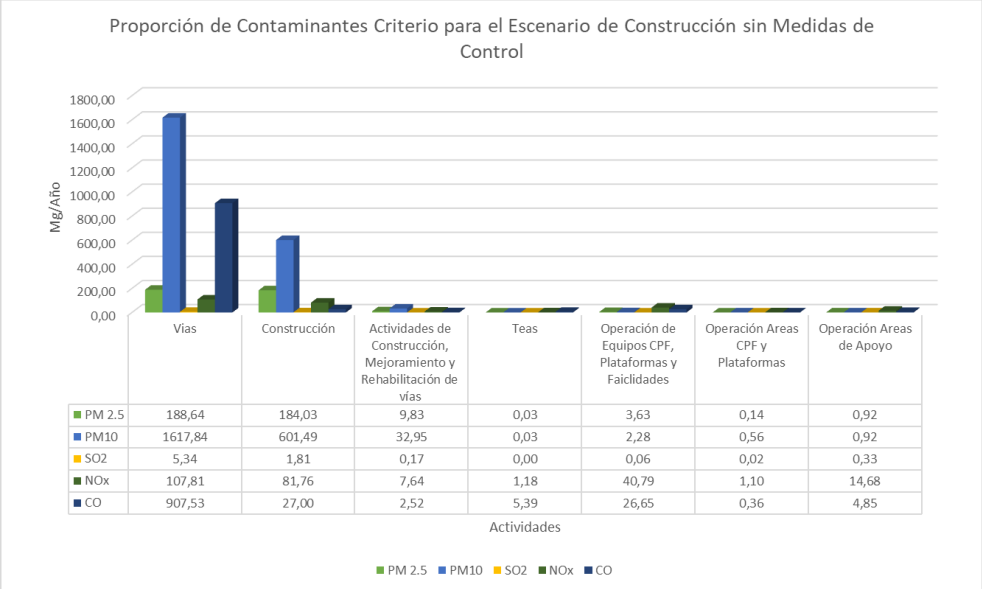


Figura 4-6 Inventario de Emisiones Escenario 2
Fuente: SGI S.A.S, 2025

La **Figura 4-6** muestra el inventario de emisiones correspondiente al escenario de modelación sin medidas de control bajo condiciones proyectadas, en donde se indica que las emisiones totales anuales alcanzan 387,23 toneladas de PM2.5, 2256,07 toneladas de PM10, 7,74 toneladas de SO_2, 254,96 toneladas de NO_x y 974,30 toneladas de CO. Los resultados muestran que las vías constituyen la fuente predominante para la mayoría de los contaminantes, especialmente para PM10 (71,7 %), PM2.5 (48,7 %), SO_2 (69,0 %) y CO (93,1 %), lo cual evidencia que el tránsito vehicular y la resuspensión de polvo son los principales aportes al total de emisiones.

Las actividades de construcción también presentan una participación importante, con aportes del 47,5 % en PM2.5 y 26,7 % en PM10, lo que refleja su relevancia en la generación de material particulado, junto con una contribución del 32,1 % en NO_x, asociada al uso de maquinaria y equipos durante las obras. Las actividades de construcción, mejoramiento y rehabilitación de vías aportan valores menores, entre 1,5 % y 3,0 %, representando fuentes complementarias dentro del balance total.

En cuanto a los óxidos de nitrógeno (NO_x), además de las actividades de construcción, destaca la operación de equipos del CPF, plataformas y facilidades, con una participación del 16,0 %, lo que indica que esta etapa operativa contribuye significativamente a las emisiones de gases provenientes de la combustión interna. Las áreas de apoyo también aportan de manera moderada en este contaminante (5,8 %).

Por su parte, las teas, áreas CPF y plataformas, y otras fuentes menores representan porcentajes muy bajos en la mayoría de los contaminantes, sin un impacto significativo sobre el total anual. En conjunto, los resultados muestran que el material particulado (PM10 y PM2.5) y el monóxido de carbono (CO) son los contaminantes más relevantes, con predominio de las vías como fuente principal, seguidas por las actividades de construcción.

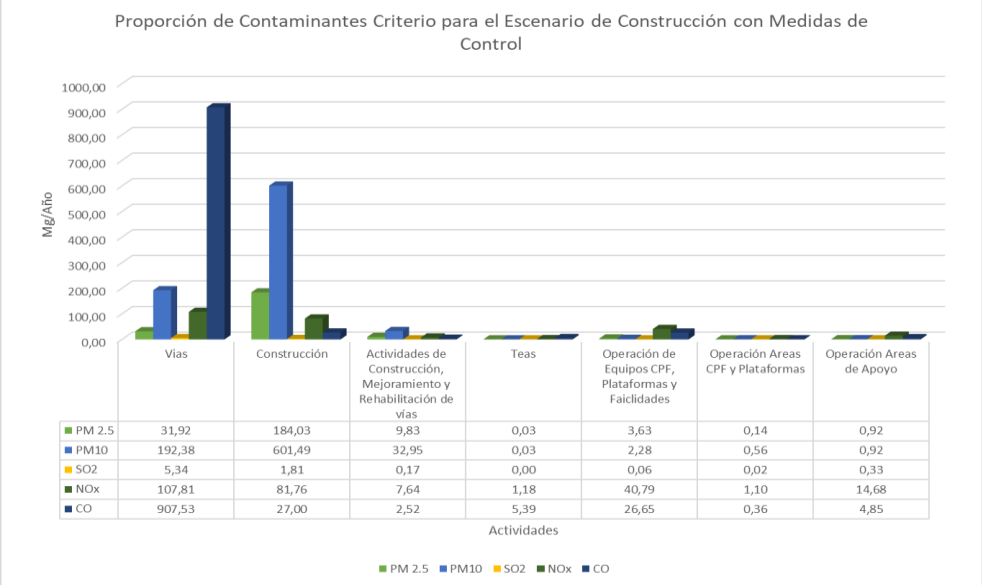
4.7.1.4.2.3 Inventario de emisiones atmosféricas Escenario 3

A continuación, se presenta el inventario de emisiones correspondiente al escenario de modelación con medidas de control del proyecto bajo condiciones proyectadas asociadas a la aplicación de riego en vías de uso del proyecto. Este considera las emisiones generadas por las operaciones de construcción, el movimiento de material granular, la operación de equipos, las actividades de perforación, las vías y las fuentes móviles (Ver **Tabla 4-18**). En este escenario se integran tanto las fuentes de emisión de la línea base como las fuentes adicionales proyectadas para las etapas de construcción y operación, con el fin de representar de manera más completa las condiciones de emisión esperadas durante el desarrollo del proyecto.

Tabla 4-18 Inventario de emisiones atmosféricas para el escenario de construcción y operación con medidas de control

APORTE	EMISIONES TON/AÑO				
	PM 2.5	PM10	SO2	NOx	CO
Vías	31,92	192,38	5,34	107,81	907,53
Construcción	184,03	601,49	1,81	81,76	27,00
Actividades de Construcción, Mejoramiento y Rehabilitación de vías	9,83	32,95	0,17	7,64	2,52
Teas	0,03	0,03	0,00	1,18	5,39
Operación de Equipos CPF, Plataformas y Facilidades	3,63	2,28	0,06	40,79	26,65
Operación Áreas CPF y Plataformas	0,14	0,56	0,02	1,10	0,36
Operación Áreas de Apoyo	0,92	0,92	0,33	14,68	4,85
Total	230,51	830,61	7,74	254,96	974,30
Participación Vías (%)	13,8	23,2	69,0	42,3	93,1
Participación Construcción (%)	79,8	72,4	23,4	32,1	2,8
Participación Actividades de Construcción, Mejoramiento y Rehabilitación de vías (%)	4,3	4,0	2,2	3,0	0,3
Participación Teas (%)	0,0	0,0	0,0	0,5	0,6
Participación Operación de Equipos CPF, Plataformas y Facilidades (%)	1,6	0,3	0,8	16,0	2,7
Participación Operación Áreas CPF y Plataformas (%)	0,1	0,1	0,3	0,4	0,0
Participación Operación Áreas de Apoyo (%)	0,4	0,1	4,2	5,8	0,5
Participación Total (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fuente: SGI S.A.S, 2025.



	Vias	Construcción	Actividades de Construcción, Mejoramiento y Rehabilitación de vías	Teas	Operación de Equipos CPF, Plataformas y Faiclidades	Operación Areas CPF y Plataformas	Operación Areas de Apoyo
PM 2.5	31,92	184,03	9,83	0,03	3,63	0,14	0,92
PM10	192,38	601,49	32,95	0,03	2,28	0,56	0,92
SO2	5,34	1,81	0,17	0,00	0,06	0,02	0,33
NOx	107,81	81,76	7,64	1,18	40,79	1,10	14,68
CO	907,53	27,00	2,52	5,39	26,65	0,36	4,85

Figura 4-7 Inventario de Emisiones Escenario 2
Fuente: SGI S.A.S, 2025.

La **Figura 4-7** presenta el inventario de emisiones correspondiente al escenario con medidas de control (humectación y control de velocidad en vías no pavimentadas), en donde se muestra una reducción marcada de las emisiones de material particulado asociadas a las vías: el PM2.5 en vías disminuye de 188,64 a 31,92 ton/año (una reducción de 156,72 ton/año, ≈83,1 %) y el PM10 de 1.617,84 a 192,38 ton/año (una reducción de 1.425,46 ton/año, ≈88,1 %). Como resultado, las emisiones totales del proyecto en este escenario son 387,23 → 230,51 ton/año de PM2.5 y 2.256,07 → 830,61 ton/año de PM10 respecto al caso sin control, evidenciando que las medidas aplicadas sobre las vías son efectivas para reducir drásticamente el polvo generado por el tránsito y la resuspensión. Por otro lado, las emisiones de contaminantes gaseosos (SO_2, NO_x y CO) se mantienen sin cambios, ya que las medidas implementadas actúan sobre el polvo y no sobre la combustión; en particular, el CO sigue concentrándose en las vías y el NO_x mantiene aportes relevantes desde la operación de equipos y las actividades de construcción. En conjunto, los resultados indican que la humectación y el control de velocidad en vías no pavimentadas son medidas clave y efectivas para mitigar PM2.5 y PM10.

4.7.1.4.3 Resultados de los escenarios de modelación

Los resultados de la modelación corresponden a mapas de isoconcentración para cada contaminante evaluado dentro del área de influencia del proyecto, en los tiempos de exposición establecidos por la norma nacional de calidad del aire (Res 2254 de 2017).

Con base en el inventario de fuentes de emisiones atmosféricas identificadas dentro del dominio de la modelación. Para la evaluación de cada contaminante y cada tiempo de exposición se realiza una simulación; correspondiente a la dispersión de contaminantes del Proyecto evaluando el impacto de la etapa de construcción sobre la calidad del aire y los receptores de interés que se encuentran en las cercanías del área de influencia.

Los resultados de la modelación de dispersión de emisiones de los contaminantes criterio, obtenidos mediante el modelo AERMOD, estiman las concentraciones máximas sobre las áreas donde se desarrollan las actividades de operación del Proyecto, así como en los puntos directamente impactados por las emisiones. Para la evaluación de los efectos sobre la calidad del aire, se utilizaron como referencia las coordenadas de las estaciones del SVCA y los puntos de interés seleccionados,

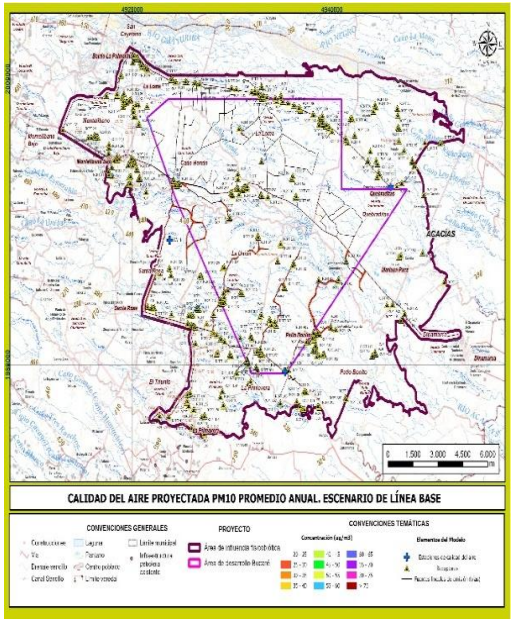
los cuales corresponden a centros poblados, fincas y viviendas ubicados en el área de influencia del Proyecto.

En la interpretación de los resultados, y teniendo en cuenta las métricas evaluadas, se destaca lo siguiente: los datos diarios, octorarios y horarios representan los valores máximos de concentración estimados por el modelo para los respectivos períodos de exposición.

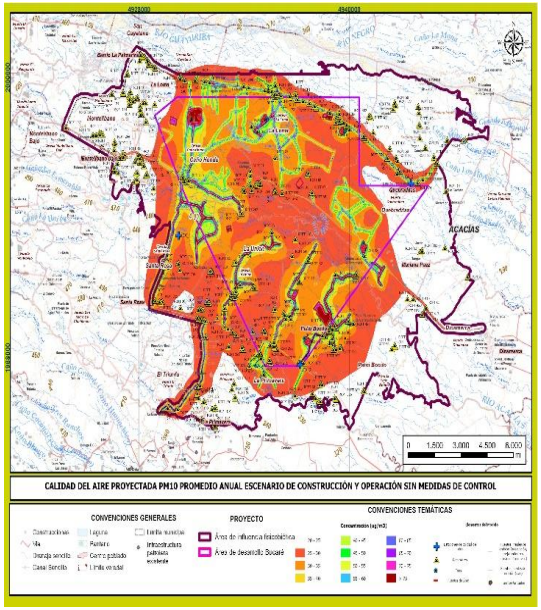
4.7.1.4.3.1 Resultados materiales particulados PM10 y PM2.5 Escenarios 1,2 y 3

En los escenarios se verifica la magnitud del aporte en la calidad del aire de los contaminantes criterio, por las emisiones dadas en la zona de estudio o área de influencia del Proyecto para las actividades y aportes existentes antes de la construcción del proyecto, en tiempos de exposición aplicables de acuerdo con la norma nacional de calidad del aire (Resolución 2254, 2017 del MADS).

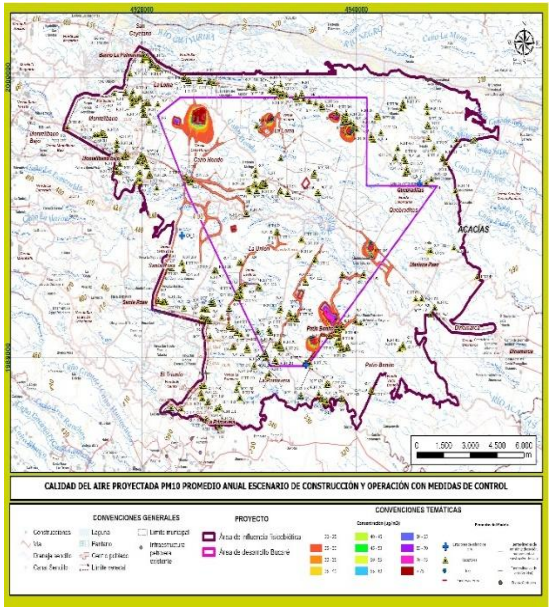
4.7.1.4.3.1.1 Material particulado PM10 promedio anual



Escenario 1 Línea Base



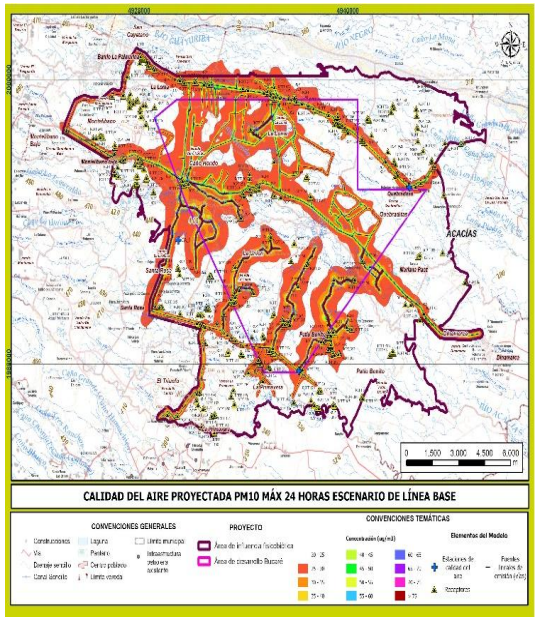
Escenario 2 Construcción y operación sin medidas de control



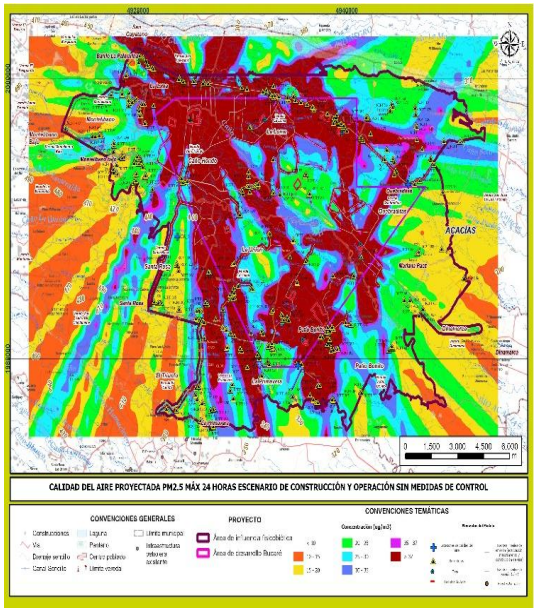
Escenario 3 Construcción con medidas de control

Figura 4-8 Resultados anuales de material particulado PM10 para los tres escenarios estudiados.
Fuente: SGI SAS, 2025

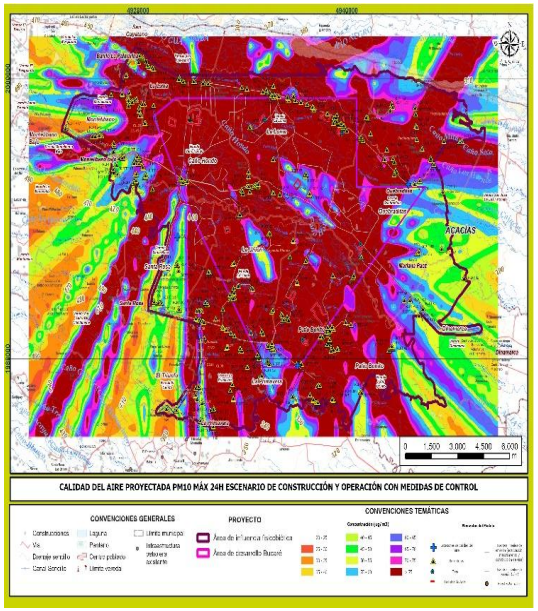
4.7.1.4.3.1.2 Material particulado PM10 24 horas



Escenario 1 Línea Base



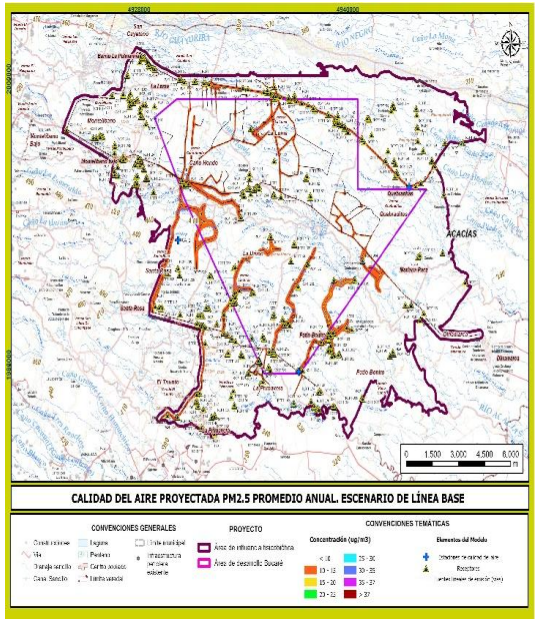
Escenario 2 Construcción y operación sin medidas de control



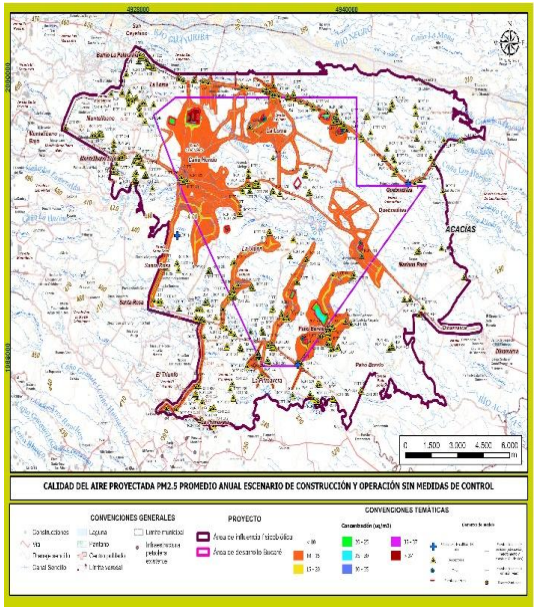
Escenario 3 Construcción con medidas de control

Figura 4-9 Resultados 24 horas de material particulado PM10 para los tres escenarios estudiados.
Fuente: SGI SAS, 2025

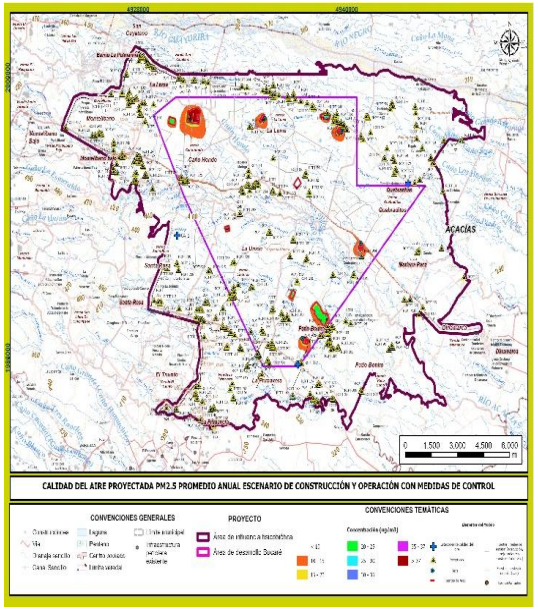
4.7.1.4.3.1.3 Material particulado PM2.5 promedio anual



Escenario 1 Línea Base



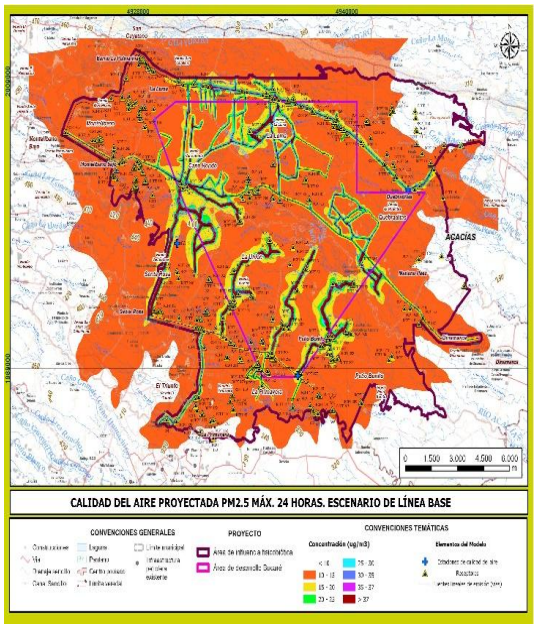
Escenario 2 Construcción y operación sin medidas de control



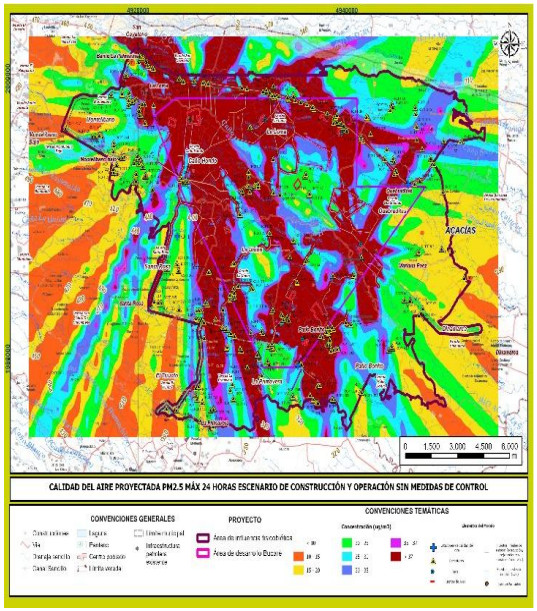
Escenario 3 Construcción con medidas de control

Figura 4-10 Resultados anuales material particulado PM2.5 para los tres escenarios estudiados.
Fuente: SGI SAS, 2025

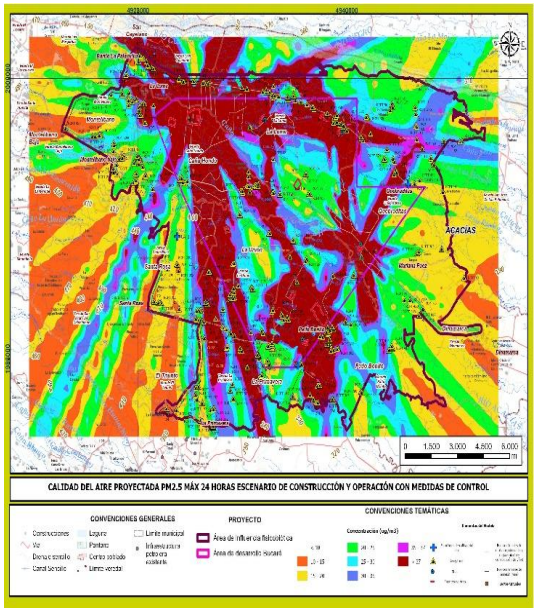
4.7.1.4.3.1.4 Material particulado PM2.5 24 horas



Escenario 1 Línea Base



Escenario 2 Construcción y operación sin medidas de control

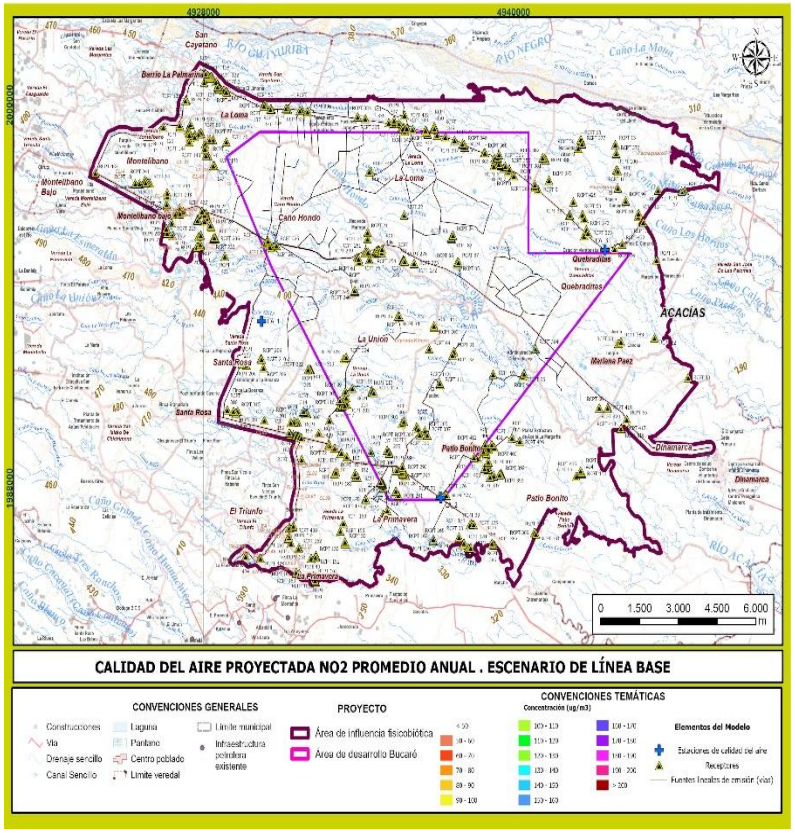


Escenario 3 Construcción con medidas de control

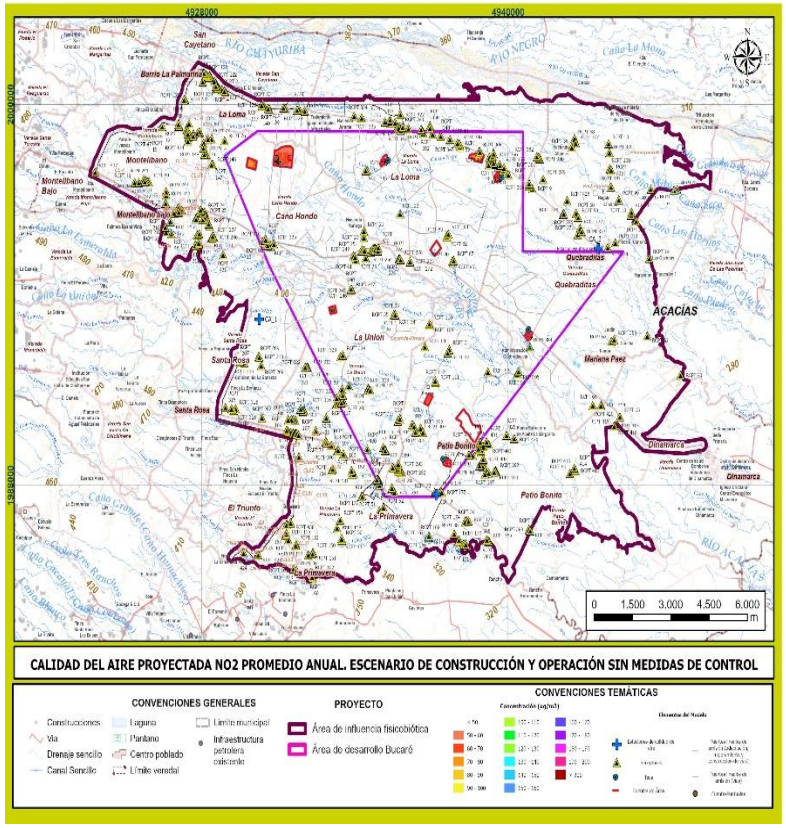
Figura 4-11 Resultados 24 horas de material particulado PM2.5 para los tres escenarios estudiados
Fuente: SGI SAS, 2025

4.7.1.4.3.2 Resultados dióxido de nitrógeno (NO2), monóxido de carbono (CO) y dióxido de azufre (SO2) Escenarios 1 y 2

4.7.1.4.3.2.1 Dióxido de nitrógeno promedio anual



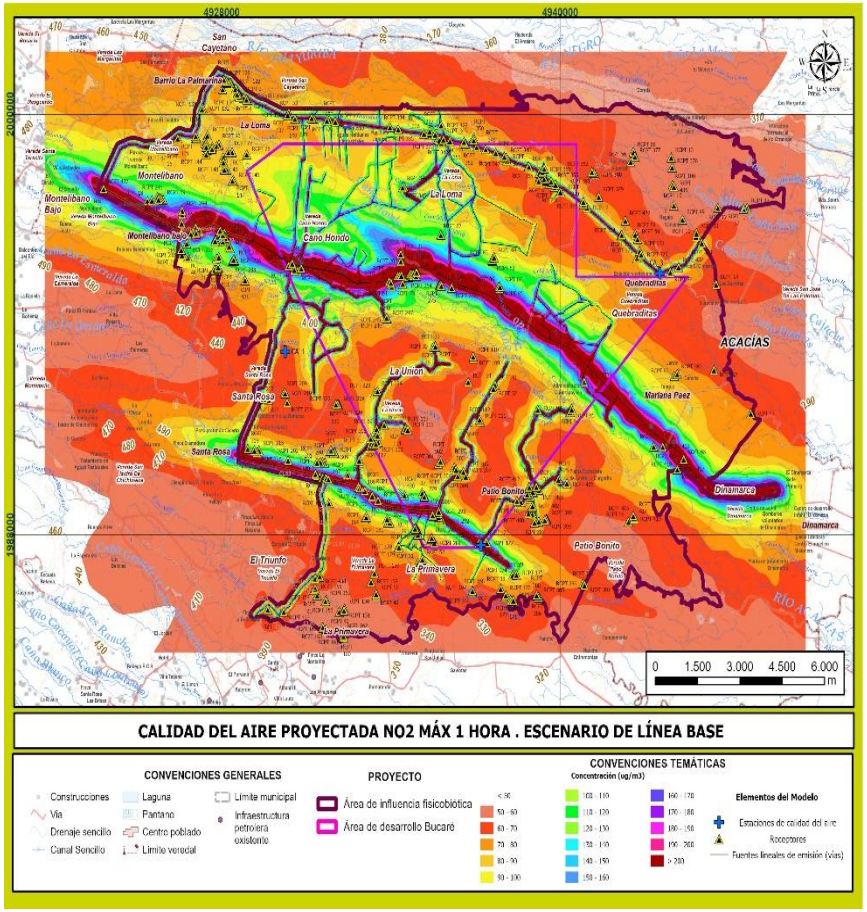
Escenario 1 Línea Base



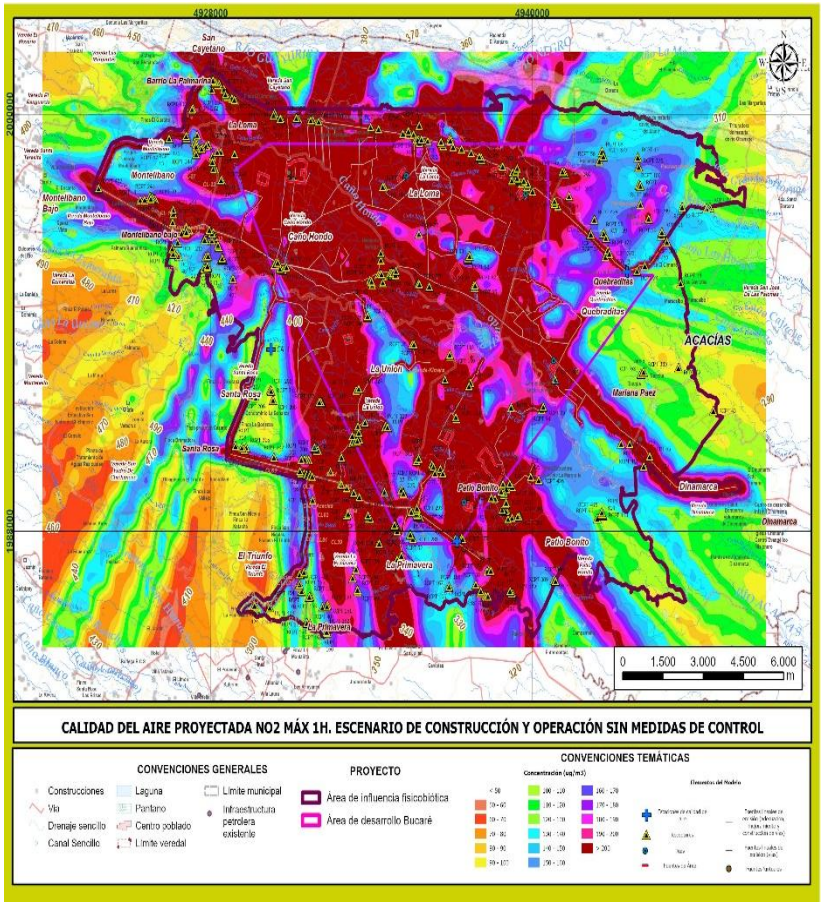
Escenario 2 Construcción y operación sin medidas de control

Figura 4-12 Resultados anuales de dióxido de nitrógeno NO2 para los dos escenarios estudiados
Fuente: SGI SAS, 2025

4.7.1.4.3.2.2 Dióxido de nitrógeno 1 hora



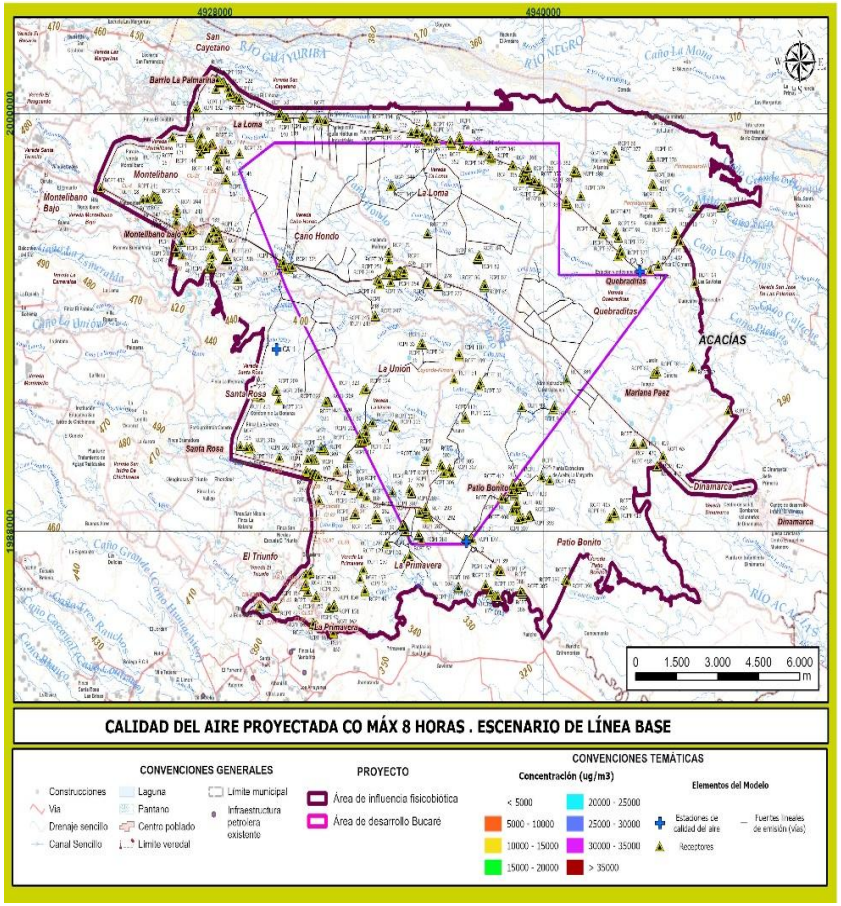
Escenario 1 Línea Base



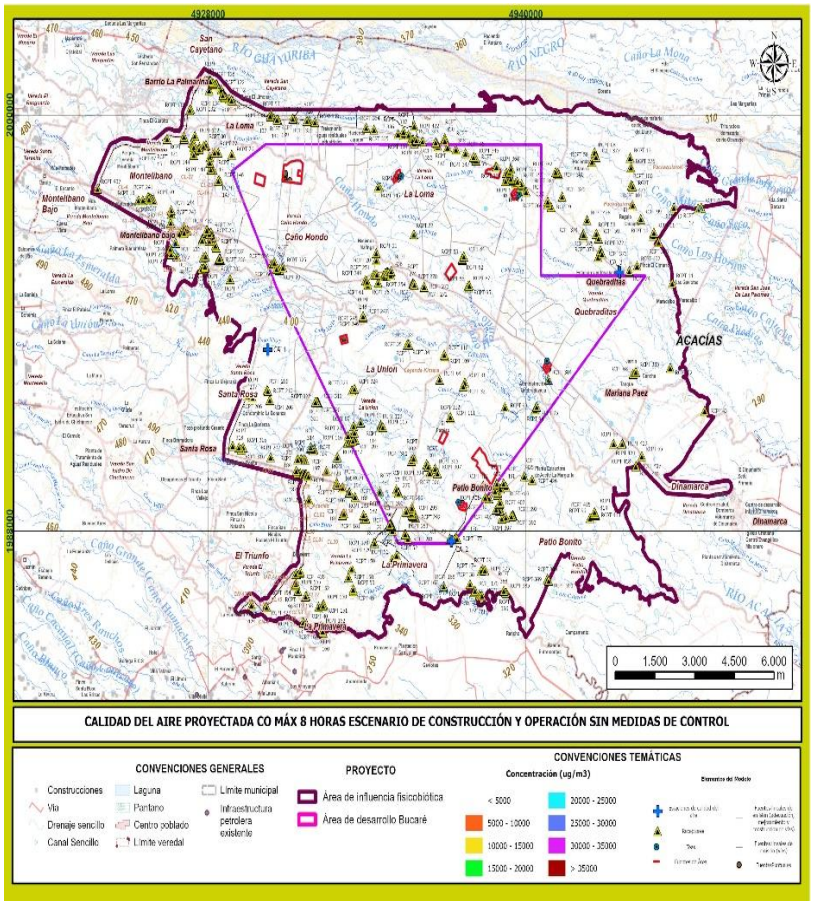
Escenario 2 Construcción y operación sin medidas de control

Figura 4-13 Resultados 1 hora dióxido de nitrógeno NO2 para los dos escenarios estudiados.
Fuente: SGI SAS, 2025

4.7.1.4.3.2.3 Monóxido de carbono 8 horas



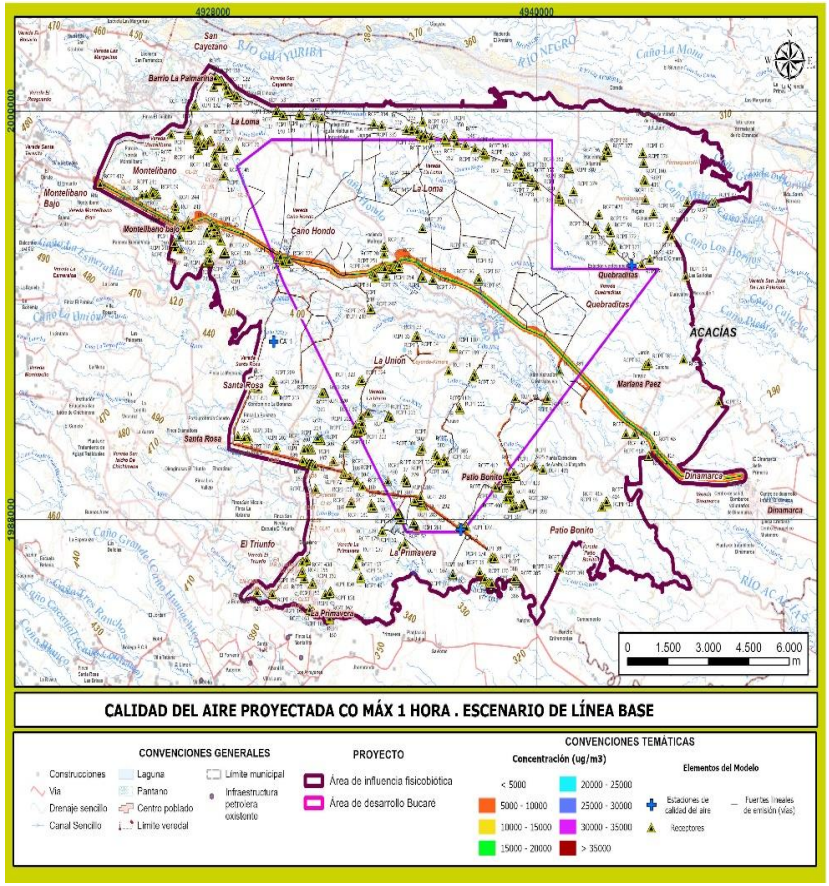
Escenario 1 Línea Base



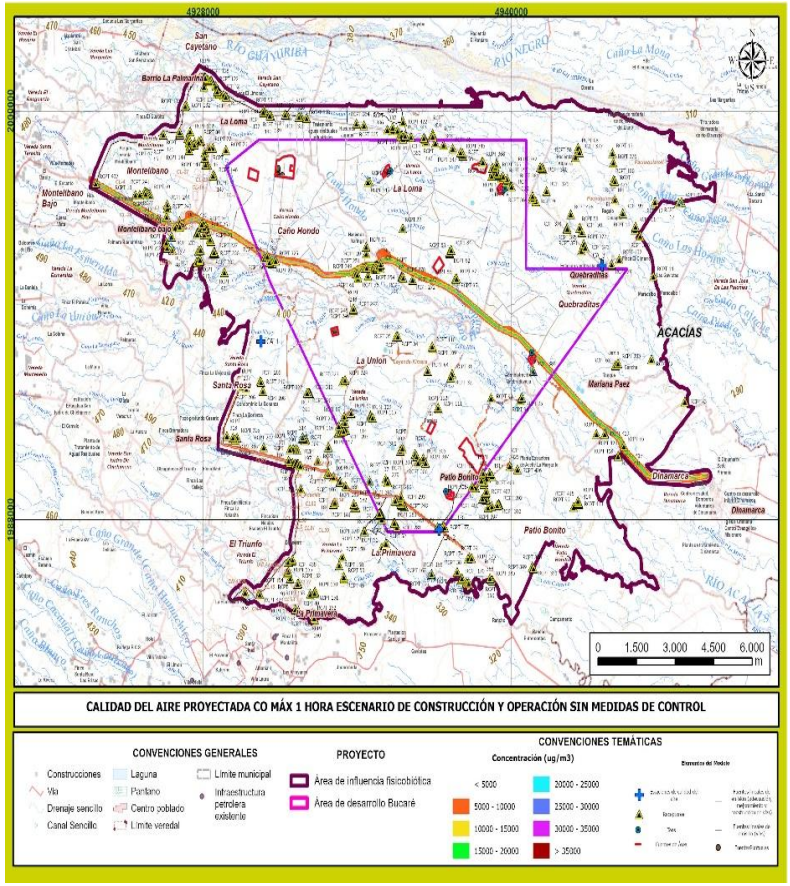
Escenario 2 Construcción y operación sin medidas de control

Figura 4-14 Resultados 8 horas monóxido de carbono CO para los dos escenarios estudiados.
Fuente: SGI SAS, 2025

4.7.1.4.3.2.4 Monóxido de carbono 1 hora



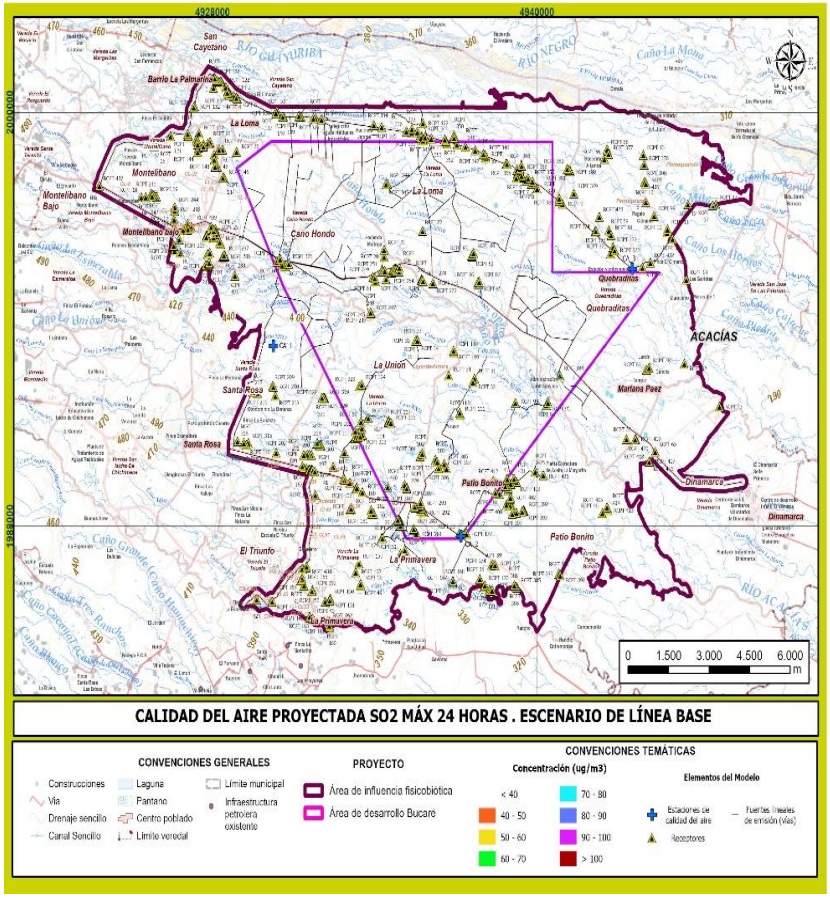
Escenario 1 Línea Base



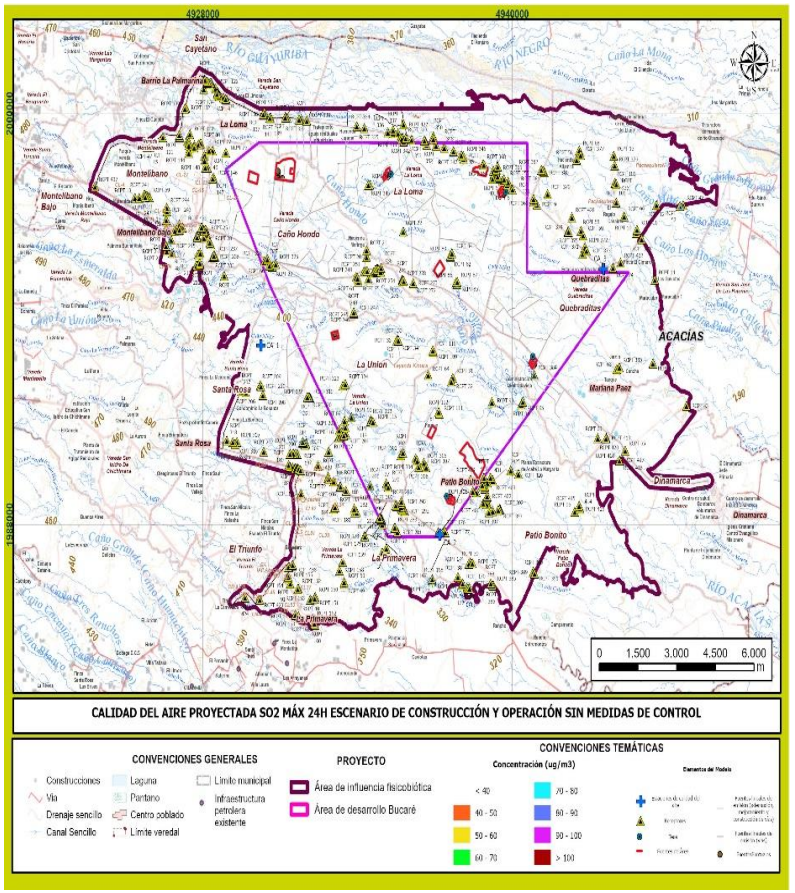
Escenario 2 Construcción y operación sin medidas de control

Figura 4-15 Resultados 1 hora monóxido de carbono CO para los dos escenarios estudiados.
Fuente: SGI SAS, 2025

4.7.1.4.3.2.5 Dióxido de azufre 24 horas



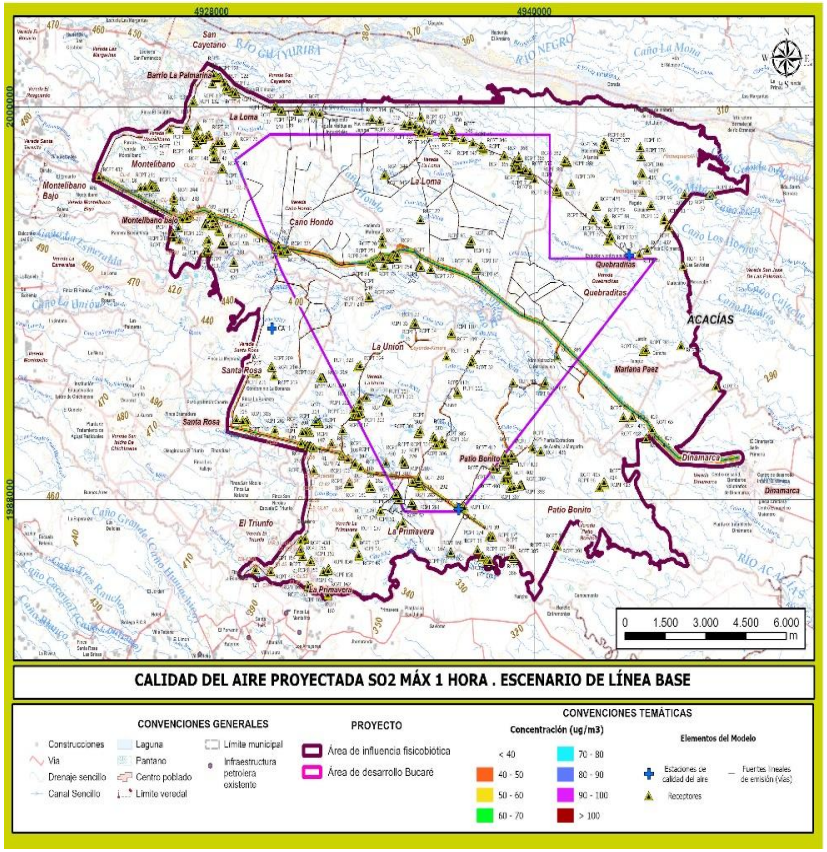
Escenario 1 Línea Base



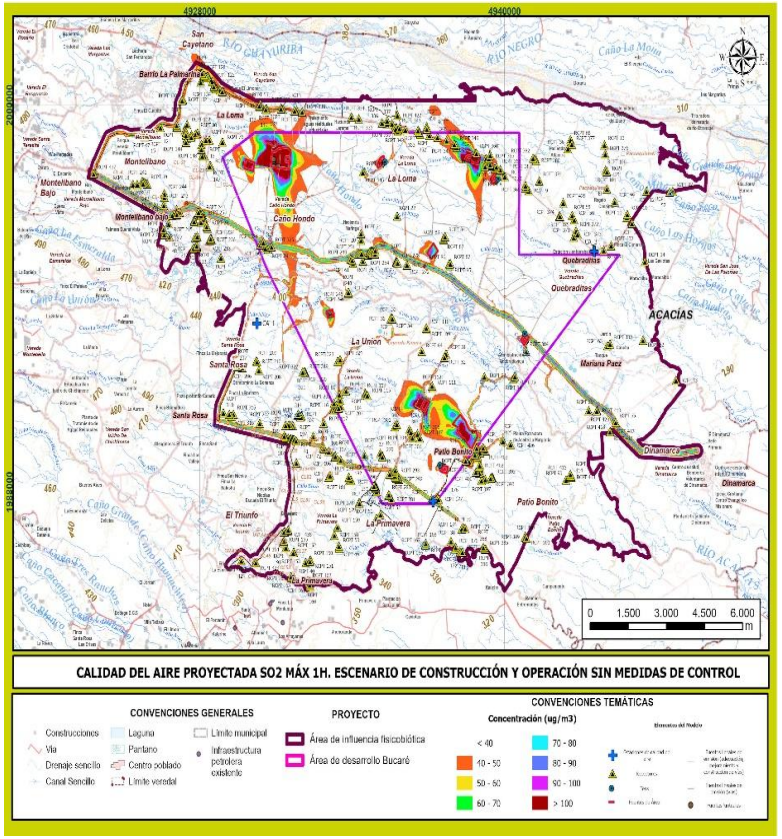
Escenario 2 Construcción y operación sin medidas de control

Figura 4-16 Resultados 24 horas dióxido de azufre SO2 para los dos escenarios estudiados.
Fuente: SGI SAS, 2025

4.7.1.4.3.2.6 Dióxido de azufre 1 hora



Escenario 1 Línea Base



Escenario 2 Construcción y operación sin medidas de control

Figura 4-17 Resultados 1 hora dióxido de azufre SO2 para los dos escenarios estudiados.
Fuente: SGI SAS, 2025

4.7.1.4.3.3 Conclusiones

- ✓ Se elaboraron tres inventarios de emisiones con el objetivo de evaluar los aportes de contaminantes a la atmósfera dentro del área de influencia del proyecto. Los resultados muestran que el mayor aporte corresponde al material particulado (PM10) en vías públicas para los escenarios de línea base y construcción–operación sin medidas de control. Esto se debe a que dichas vías son destapadas, presentan un flujo vehicular intermedio y no cuentan con medidas de mitigación, lo que incrementa significativamente la resuspensión de partículas en zonas cercanas. Para el tercer escenario, el CO se convierte en el contaminante predominante debido a la implementación de medidas de control, que reducen notablemente las emisiones de PM10.

- ✓ Se estimó la concentración de fondo, con la información suministrada en los informes de calidad del aire IL-25-0308, utilizando las estaciones de monitoreo CA_1, CA_2, CA_3, para los contaminantes criterio (PM10, PM2.5, SO_2, CO, NO_2)

- ✓ En cuanto a la información meteorológica, se incluyeron los resultados de las pruebas de desempeño del modelo WRF, los cuales demuestran una adecuada correspondencia y linealidad con los datos observados por las estaciones del IDEAM y los valores proyectados por dicho modelo

- ✓ Las métricas de exposición a largo plazo evidencian que las concentraciones promedio anuales se mantienen controladas y espacialmente coherentes con la localización de las fuentes y las condiciones meteorológicas dominantes. Los resultados indican que, aun considerando escenarios conservadores, no se generan afectaciones persistentes ni acumulativas sobre el área de influencia, lo que sugiere que la operación del proyecto no representa un riesgo significativo para la calidad del aire ni para la salud de la población en términos de exposición crónica.

- ✓ En cuanto a las métricas de corto plazo, los valores máximos reflejan eventos puntuales asociados a condiciones meteorológicas específicas y a la proximidad a las áreas de intervención, sin evidenciar una propagación generalizada de concentraciones elevadas en el dominio de modelación, lo que sugiere la existencia de un riesgo potencial de muy baja probabilidad. Por su parte, el análisis del percentil 50 confirma que las condiciones típicas de operación se mantienen dentro de los rangos recomendados por las Guías de Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS), evidenciando la ausencia de impactos relevantes bajo escenarios representativos. El análisis conjunto de los resultados de estas dos métricas indica que los valores máximos corresponden a escenarios extremos de baja ocurrencia, no representativos de la exposición habitual, por lo que se concluye que el proyecto no configura un riesgo tangible desde el componente de calidad del aire bajo condiciones normales de operación.

- ✓ La modelación considera escenarios críticos de emisiones en un solo día; sin embargo, en la práctica estos eventos no ocurren simultáneamente. Por ello, las concentraciones máximas presentadas corresponden a condiciones de peor caso posible. La frecuencia real de tales eventos es baja, estimándose entre una y dos veces al año, dependiendo del comportamiento meteorológico de la zona.

- ✓ El análisis de las direcciones predominantes del viento muestra que la dispersión de contaminantes tiende a ocurrir principalmente hacia el Sureste, según las frecuencias anuales. Durante el día los vientos predominan desde el Noreste, mientras que en la noche lo hacen desde el Noroest.

- ✓ La modelación de las fuentes de emisión se realizó conforme a los términos de referencia HI-TER-1-03 y lo establecido en la Metodología General para la Presentación de Estudios

Ambientales ANLA 2018, empleando como insumos la información meteorológica del modelo WRF, datos satelitales WebGIS SRTM 1 versión 3 con resolución de 30 metros, información topográfica del proyecto (DEM) y la información técnica de los equipos proporcionada por ECOPETROL S.A.

- ✓ La implementación de sistemas de riego en las vías durante las actividades de construcción permite mitigar hasta en un 90 % las emisiones de material particulado en resuspensión, lo cual quedó evidenciado en los resultados del modelo.

- ✓ El análisis de receptores sensibles indica que las actividades del proyecto no representan un riesgo para la salud pública, y que las medidas de control implementadas permiten mantener las condiciones iniciales (línea base) e incluso mejorarlas en algunos casos para los contaminantes PM10 y PM2.5.

4.7.1.5 Modelo de ruido

Se presenta un breve resumen de las actividades realizadas y la secuencia metodológica implementada para el modelo de propagación de ruido del proyecto Estudio de Impacto Ambiental para la obtención de la licencia ambiental del Área de Desarrollo Bucare localizado en el municipio de Acacías.

4.7.1.5.1 Metodología

La metodología se fundamenta en los algoritmos de cálculo establecidos en la norma ISO 9613-2 titulada “Attenuation of Sound during propagation outdoors – Part 2: General Method of Calculation”, que proyectan niveles de ruido y su propagación a partir de diferentes fenómenos de atenuación, donde se requiere contar con el nivel de potencia sonora de las fuentes, para ello establece dos metodologías de cálculo contenidas en la ISO 8297 y la ISO 3744/3746, debido a la naturaleza de la medición de éstos niveles y de la fuente en sí.

Dicho esto, y teniendo en cuenta que en Colombia no existe un método general para el desarrollo de modelos de ruido, se toma como referencia las recomendaciones propuestas en la resolución 0627 de 2006 del MAVDT, hoy MADS, para el uso de software especializados de dispersión de ruido, por lo cual se emplea PREDICTOR – LIMA 2024V2, para los escenarios plateados.

4.7.1.5.2 Escala espacial de modelación

Debido a la naturaleza de la propagación del ruido emitido por fuentes móviles, su ubicación relativa, el área del proyecto y la dirección predominante del viento, se considera una escala de modelación local, considerando que el área de influencia del proyecto se define a distancias cortas con respecto al trazado de las vías, caso en el cual la influencia de las emisiones podrá trascender a veredas cercanas. El dominio de modelación cubre espacialmente la extensión definida en el Estudio de Impacto Ambiental para la obtención de la licencia ambiental del Área de Desarrollo Bucare, mediante una malla rectangular general de 28,6 km en el eje X y 20,3 km en el eje Y, con un espaciamiento de 100 metros. Adicionalmente, se emplean mallas específicas que recorren la totalidad de las vías, con un espaciamiento de 10 metros.

4.7.1.5.3 Escala temporal de modelación

Para la actual modelación se presentan los resultados de horario diurno y nocturno de acuerdo con las definiciones establecidas por la Resolución 627 de 2006 del MADS, según la cual el horario diurno se define entre las 7:01 y las 21:00, mientras que el horario nocturno se define entre las 21:01 y las 7:00. Por otro lado, para las fuentes de emisión simuladas, se asignan horarios en función de la frecuencia de operación en cada una de las etapas de la siguiente forma:

- ✓ Las emisiones de ruido provenientes del tráfico vehicular se reparten en el software de acuerdo con los datos de aforo vehicular reportados para el día y la noche del tráfico promedio que transita por las vías de interés al interior del área de influencia preliminar del proyecto.
- ✓ Las emisiones de ruido para la maquinaria amarilla se contemplan solamente para periodos diurnos.
- ✓ Las emisiones asociadas a los equipos de perforación son continuas, es decir, se asume que los equipos trabajan de forma ininterrumpida las 24 horas del día.
- ✓ Los resultados de modelación obtenidos son representativos para las fuentes de emisión de ruido a corto plazo para horarios diurno y nocturno.

4.7.1.5.4 Meteorología

La información meteorológica ingresada al modelo de propagación de ruido fue obtenida generada a partir del modelo WRF adaptado para Colombia por la firma Meteocolombia S.A.S.

Para el uso del software, la modelación acústica tiene en cuenta principalmente 3 variables que son temperatura, presión atmosférica y humedad relativa.

A continuación, se presentan las variables meteorológicas junto con los valores ingresados al modelo para calcular la atenuación del aire atmosférico.

Tabla 4-19 Parámetros atmosféricos del modelo

PARÁMETROS ATMOSFÉRICOS PREDICTOR				
Temperatura		**Presión atmosférica**		**Humedad relativa**
K	°C	mBar	KPa	%
299.93	26.78	993,8	95.57	70.94

Fuente: Servicios Geológicos Integrados SGI. S.A.S (2025).

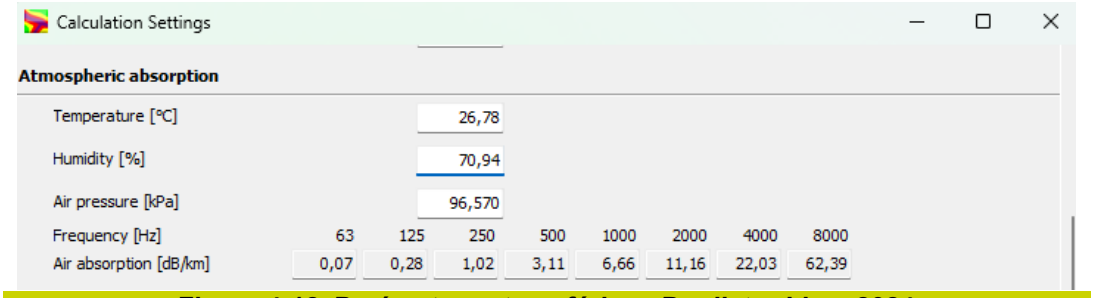


Figura 4-18 Parámetros atmosféricos Predictor Lima 2024
Fuente: Servicios Geológicos Integrados SGI. S.A.S (2025).

4.7.1.5.5 Tipo de modelo

Los datos del modelo se mantienen en proyectos bajo el control total del software. Los cambios en los datos se guardan automáticamente. Los tipos de elementos en un modelo incluyen fuentes de sonido, objetos y puntos de cálculo.

Cada elemento tiene información de posición, que lo relaciona con el área base en términos tridimensionales. El área base generalmente se superpone a un mapa topográfico en 2D obtenido a partir del procesamiento de información WebGIS SRTM 1 Versión 3 con resolución de 30 metros en conjunto con el archivo DEM generado para el proyecto, que se utiliza para alinear cada elemento del modelo en relación con un levantamiento real del área en estudio.

Los modelos están organizados en áreas y versiones, las cuales se pueden ver como carpetas dentro del proyecto, en donde una carpeta de Área puede representar un área geográfica y una carpeta de Versión puede representar la situación del Área en un momento determinado, finalmente, los modelos se almacenan de manera eficiente mediante la reutilización de datos.

- ✓ **Modelo ISO 9613 Ruido Industrial:** Propagación total equivalente de intensidad de sonido
- ✓ **Modelo ISO 9613 ½ Road: Dutch SRM2:** Para la propagación de presión sonora procedente de fuentes lineales, específicamente vías. Según ese modelo, la emisión de sonido se puede determinar en potencia sonora por metro, pero también en número de vehículos por hora, velocidad y superficie tipo. Si se tiene el número de vehículos, la emisión de sonido se calcula automáticamente de acuerdo con el estándar RMV-SRM2.

4.7.1.5.6 Escenarios de modelación

Como se mencionó previamente, para la elaboración del modelo de propagación de ruido se plantearon diferentes escenarios de simulación, con el propósito de evaluar las variaciones en el entorno acústico y analizar el impacto del proyecto en términos de ruido sobre el área de influencia inmediata.

- ✓ **Escenario de Línea Base**: En este escenario, se considera la infraestructura vial existente, cuya actividad se asocia netamente al tráfico vehicular caracterizado durante las campañas de aforo vehicular, por ende, para este escenario solamente se contemplan fuentes lineales.
- ✓ **Escenario Constructivo:** Para este escenario se mantienen las mismas vías consideradas en el escenario de línea base. Se incorporan las fuentes que representan la operación de la maquinaria amarilla y de los equipos previstos para la etapa constructiva del proyecto, así como la flota vehicular asociada a dicha etapa, destinada a la movilización de equipos, materiales y personal.
- ✓ **Escenario Operativo sin Medidas de Control:** En este escenario, se consideran los aportes de la línea base, la flota vehicular proyectada que transita por la infraestructura vial existente o que ha sido construida y/adecuada y los equipos existentes junto con la incorporación de equipos nuevos de perforación, como bombas, generadores, compresores y Tea.
- ✓ **Escenario Operativo con Medidas de Control:** Para este escenario se mantienen las mismas fuentes del escenario operativo anterior, sin embargo, se tienen en cuenta reducciones en las emisiones sonoras asociadas a la instalación de contenedores aislantes, para los equipos de generación de energía eléctrica y reducciones de velocidades a 20Km/h (antes 30 Km/h) sobre las vías de interés del proyecto.

4.7.1.5.7 Resultados

A continuación, se presentan los resultados para el escenario de modelación, cuyos datos fueron obtenidos mediante el software Predictor-LimA V2024, estos se presentan mediante mapas de isófonas siguiendo la combinación de colores para representaciones gráficas cada 5 dB(A), establecidas en la Resolución 0627 de 2006, además, para los receptores de interés que representan puntos de zonas residenciales, zonas industriales y puntos de monitoreo de ruido se asume según el caso como Sector D (más restrictivo de los receptores). La modelación en el software se encuentra disponible en el Anexos/8.Anexo Uso y Aprovechamiento/8.5 Emisiones Atmosféricas/8.5.2Informes modelaciones dispersión y ruido/Modelo de Propagación de Ruido/ Anexo 1. Archivos Predictor y los productos gráficos obtenidos en el Anexos/8.Anexo Uso y Aprovechamiento/8.5 Emisiones Atmosféricas/8.5.2Informes modelaciones dispersión y ruido/Modelo de Propagación de Ruido/ Anexo 2. Salidas Gráficas.

Así mismo, en el **Anexo 3** se presentan los resultados obtenidos en los receptores, diferenciados por escenario y por grupo de fuentes, es decir, vías y equipos. Esta clasificación permite analizar de

manera más precisa la contribución individual de cada tipo de fuente al nivel sonoro total en los puntos de evaluación, facilitando la comparación entre escenarios y la identificación de los principales aportantes en el entorno acústico proyectado.

4.7.1.5.7.1 Escenario de línea base

En este escenario se verifica la magnitud del aporte en los niveles de presión acústica de las vías existentes (vías de interés) dentro del área de influencia del proyecto Área de Desarrollo Bucare.

4.7.1.5.7.1.1 Modelo de propagación de ruido del escenario base en horario diurno

La **Figura 4-19** representa la distribución del ruido ambiental en la zona del proyecto, mediante mapas de isófonas para el escenario base en horario diurno, como se puede observar, la propagación de ruido se genera en torno a las vías principales y secundarias que se encuentran dentro del área de interés del proyecto. En las áreas con aforos vehiculares más altos, se evidencian los rangos de presión sonora más altos, representados por las tonalidades anaranjadas, que corresponde al rango de los 60 a 65 dB. Por otro lado, la tonalidad más clara de color verde representa los niveles más bajos de presión sonora, es decir, los niveles por debajo de los 35 dB, los cuales abarcan las zonas alejadas de las vías; además, se puede observar cómo aumentan los niveles de presión sonora conforme se acercan a las vías.

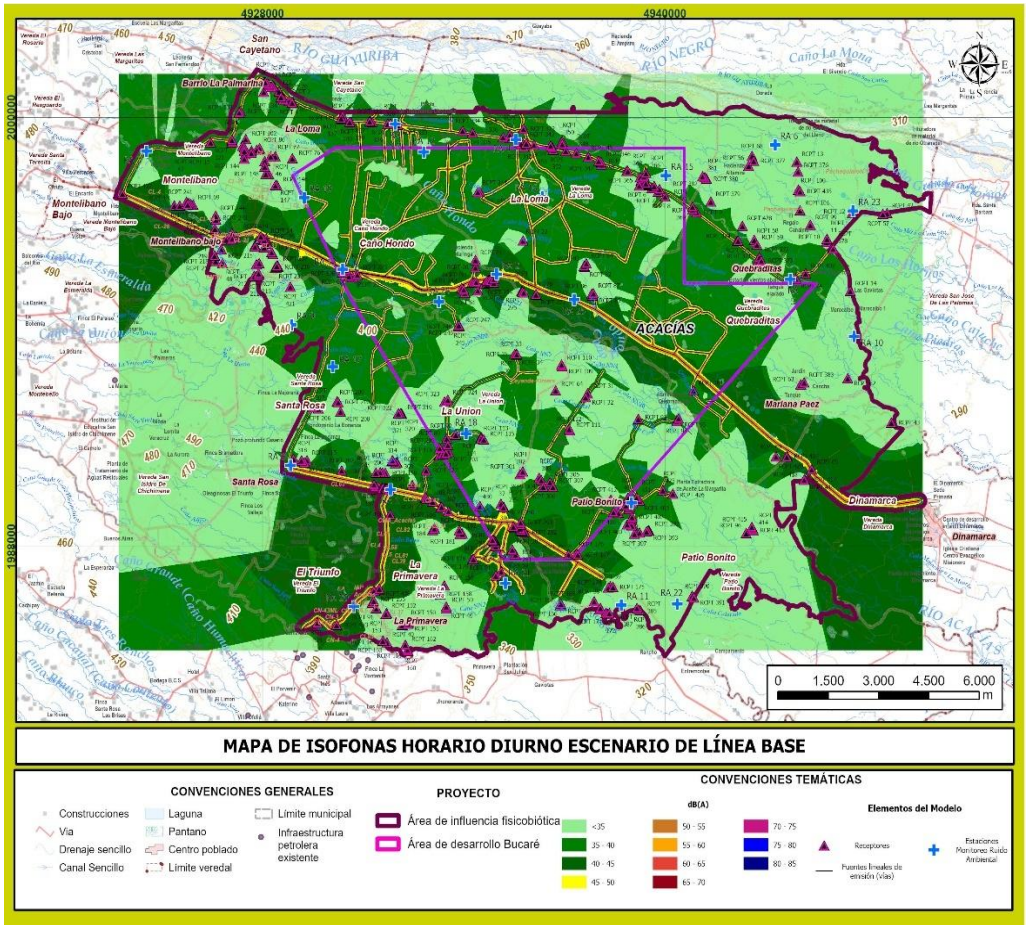


Figura 4-19 Mapa de isófonas para el escenario base en horario diurno
Fuente: Servicios Geológicos Integrados SGI. S.A.S (2025).

4.7.1.5.7.1.2 Modelo de propagación de ruido del escenario base en horario nocturno

La **Figura 4-20** presenta las isófonas obtenidas para el escenario base en horario nocturno, en este se puede observar que las isófonas asociadas a las emisiones de ruido provenientes de las vías existentes presentan una reducción en sus magnitudes de presión sonora significativas, esto se debe a que el flujo vehicular caracterizado durante las campañas de aforo vehicular presenta una reducción sustancial de la actividad en horario nocturno.

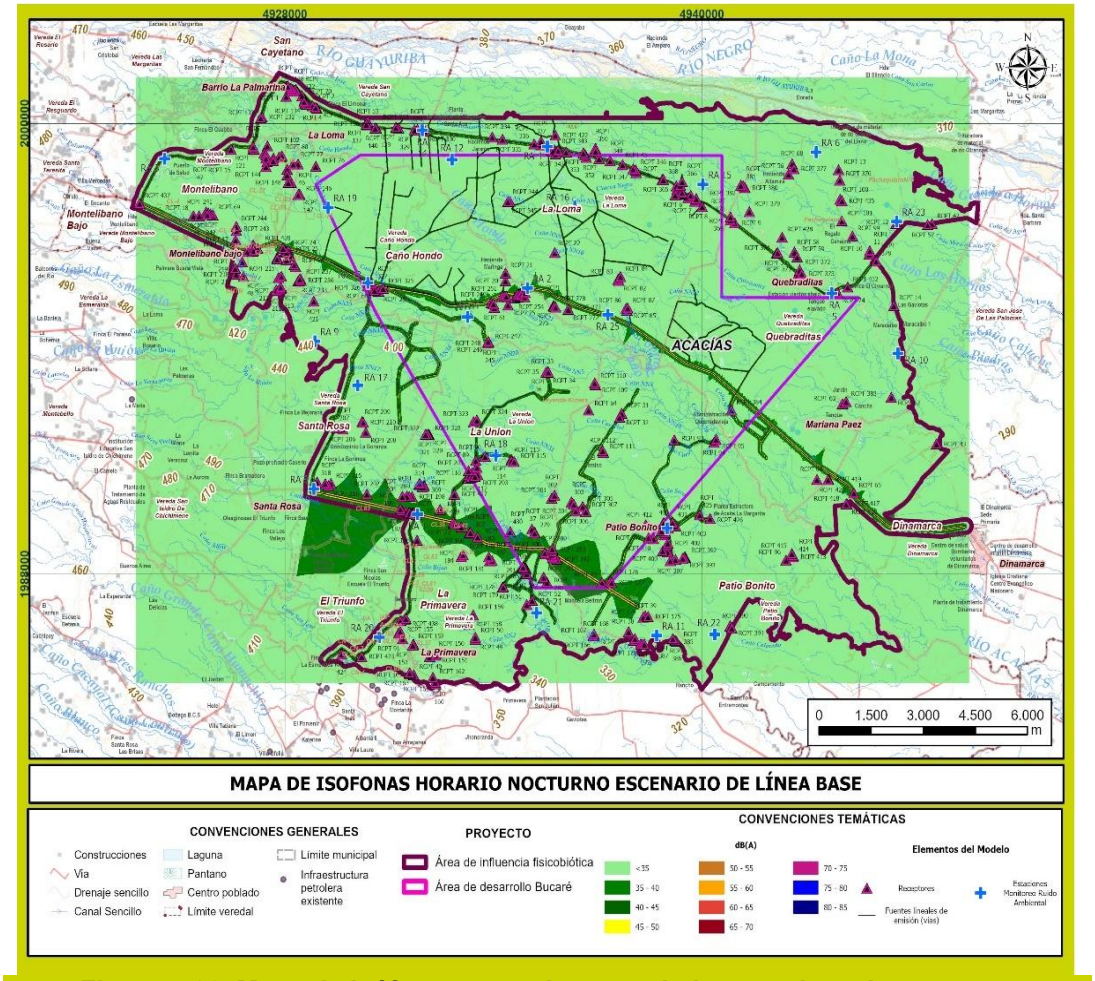


Figura 4-20 Mapa de isófonas para el escenario base en horario nocturno
Fuente: SGI S.A.S ,2025.

4.7.1.5.7.2 Escenario de construcción

En este escenario se evalúa la magnitud del aporte de los niveles de presión acústica generados por los equipos proyectados (maquinaria amarilla), junto con los aportes asociados al aforo vehicular previsto para la etapa de construcción de plataformas y para las actividades de construcción, mejoramiento y rehabilitación de las vías de interés, además del tráfico vehicular existente en el área de influencia.

4.7.1.5.7.2.1 Modelo de propagación de ruido del escenario construcción horario diurno

La **Figura 4-21** presenta el mapa de isófonas correspondiente al escenario de construcción en periodo diurno, en el cual se observa que los principales aportes a los niveles de presión sonora se concentran sobre las vías, seguidos por las zonas donde se ubican las fuentes puntuales (representadas con estrellas verdes), que corresponden a los equipos proyectados para la construcción de la CPF, las facilidades y las áreas de apoyo. Se identifican tonalidades rojo carmesí que representan niveles de presión sonora entre 65 y 70 dBA, localizadas principalmente en el entorno inmediato de las vías y dentro de las zonas de intervención. Por otro lado, predominan tonalidades amarillas que abarcan la mayor proporción del área dentro del área de influencia del proyecto, seguidas por tonalidades verdes, que corresponden a intervalos de 45–50 dBA y 40–45 dBA, respectivamente.

Teniendo en cuenta lo anterior, es importante precisar que el modelo correspondiente al escenario de construcción representa un escenario de peor caso para un periodo de 24 horas, en el cual las actividades constructivas se desarrollan exclusivamente en jornada diurna, con una duración aproximada de 10 horas, sin contemplar actividades nocturnas. El modelo no considera variaciones en la operación de las fuentes sonoras, dado que asume la operación simultánea de todos los equipos asociados a cada actividad, aplicando únicamente una intensidad horaria promedio dentro del periodo modelado. En este sentido, el mapa de isófonas resultante debe interpretarse como la máxima extensión potencial de los niveles de presión sonora, y no como una representación del entorno acústico constante o permanente en el área de estudio.

Esto se debe a que las actividades propias de la etapa constructiva se desarrollan de acuerdo con un cronograma de obra que varía según el avance del proyecto. Por lo tanto, las intervenciones serán focalizadas y de carácter temporal en la mayoría de los casos, lo que implica que, en la práctica, los impactos reales sobre los niveles de presión acústica serán significativamente menores que los estimados en el modelo.

Finalmente, se observa que, incluso bajo el peor escenario modelado en términos de simultaneidad de fuentes, los impactos sonoros no trascienden el área de influencia preliminar establecida.

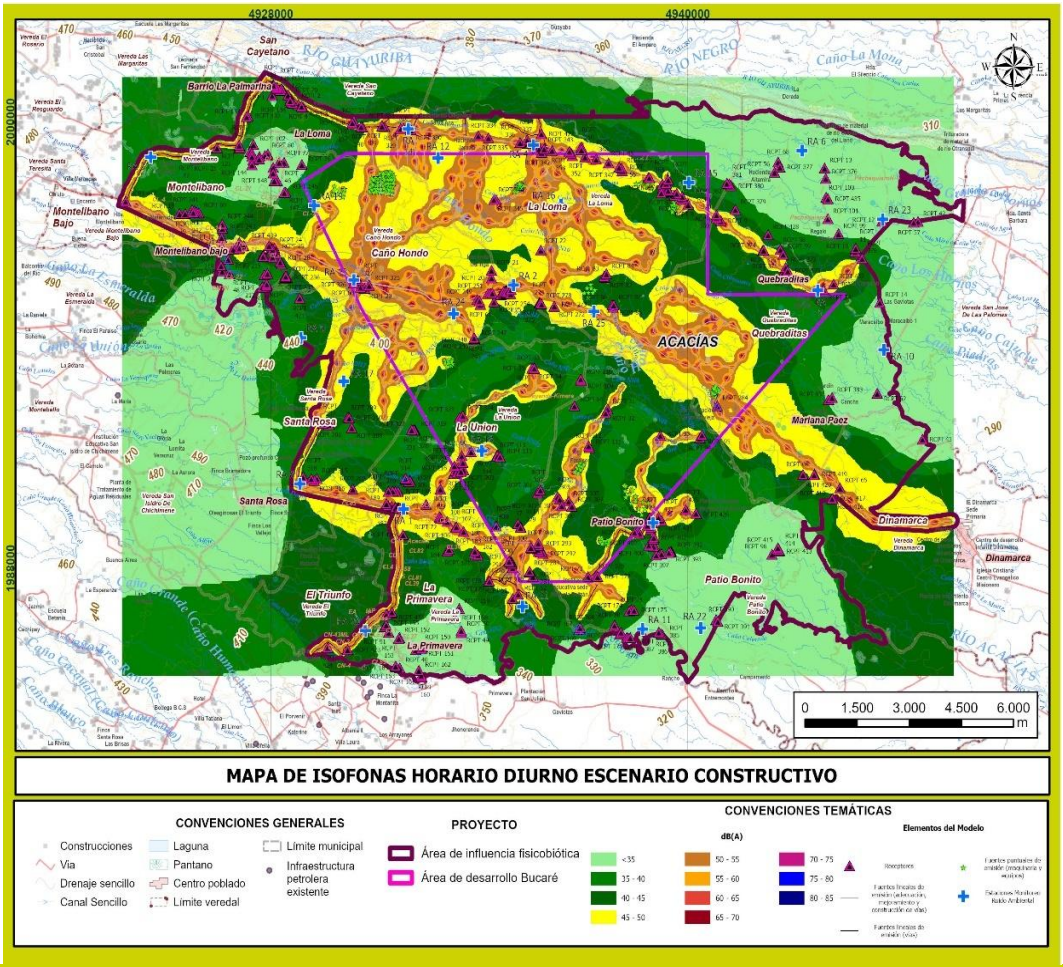


Figura 4-21 Mapa de isófonas para el escenario constructivo en horario Diurno
Fuente: SGI S.A.S ,2025.

4.7.1.5.7.3 Escenario de operación sin medidas de control

En este escenario se verifica la magnitud del aporte en los niveles de presión acústica de las fuentes lineales de emisión existentes junto con las fuentes puntuales y de área proyectadas para las actividades en la etapa de perforación, para el periodo de operación futuro.

4.7.1.5.7.3.1 Modelo de propagación de ruido del escenario operativo sin medidas de control en horario diurno

La **Figura 4-22**, presenta la distribución espacial del ruido ambiental en el área de influencia del proyecto, a través de mapas de isófonas correspondientes al escenario operativo en horario diurno. Se observa que la propagación del ruido se concentra principalmente en las zonas adyacentes a las vías consideradas en el modelo, así como en los sectores donde se desarrollan las actividades de perforación (máximo en un periodo de 3 meses) y operación de áreas de apoyo. En estas áreas se registran los niveles de presión sonora más elevados, representados por las tonalidades rojas, que corresponden al rango de 65 a 70 dB. En comparación con el escenario constructivo, se evidencia una disminución significativa en la extensión de las isófonas, dado que durante la fase operativa no se contemplan intervenciones sobre las vías, lo que reduce las fuentes industriales, en consecuencia, los niveles de emisión sonora.

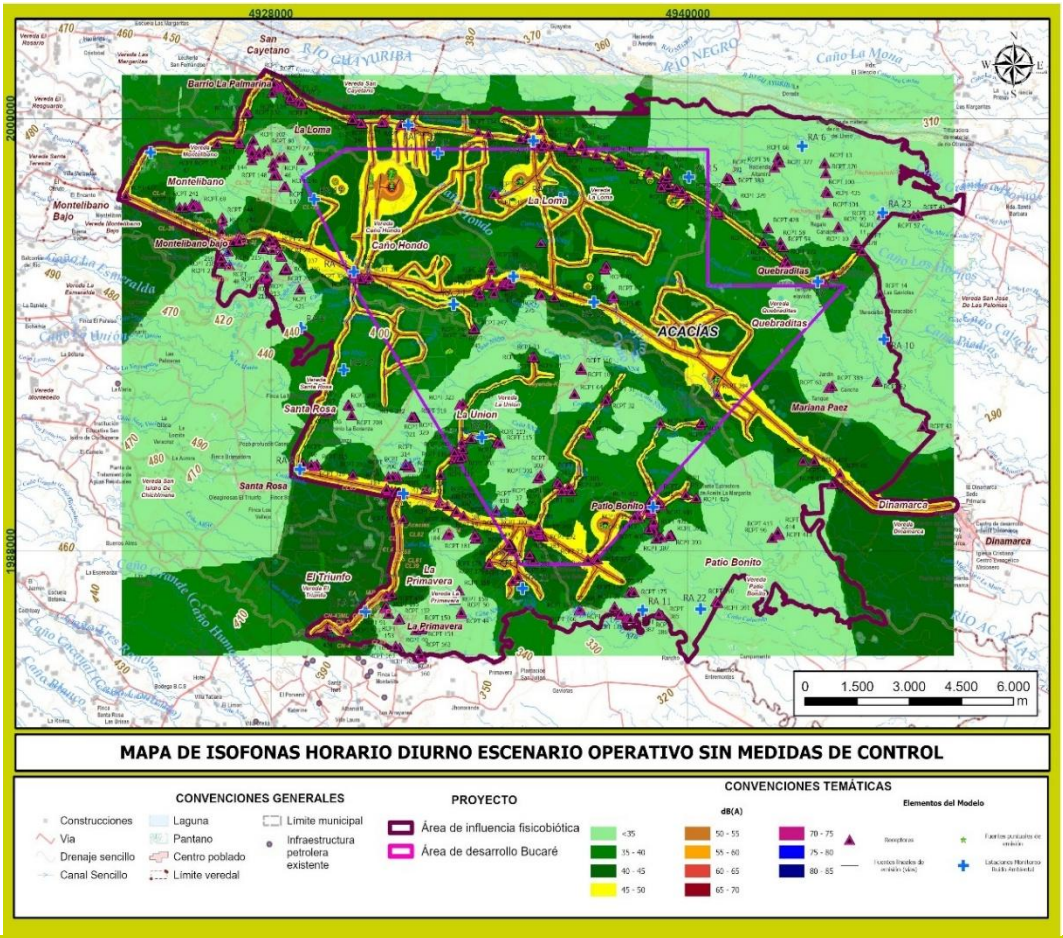


Figura 4-22 Mapa de isófonas del proyecto para el escenario operativo sin medidas de control en horario diurno
Fuente: SGI S.A.S ,2025.

4.7.1.5.7.3.2 Modelo de propagación de ruido del escenario operativo sin medidas de control en horario nocturno

La **Figura 4-23** presenta las isófonas obtenidas para el escenario operativo en horario nocturno, en este se puede observar que las isófonas disminuyen en sus magnitudes de presión sonora y área abarcada en función a las vías, también se observa que los datos más elevados se encuentran entre los 60 a 70 dB, debido a la operación de los taladros, generadores, compresores y bombas proyectadas en actividades de perforación (operan 24h). Finalmente, los datos inferiores a 35 dB se encuentran en gran parte de la zona de interés del proyecto debido a la reducción de la actividad vehicular durante la noche.

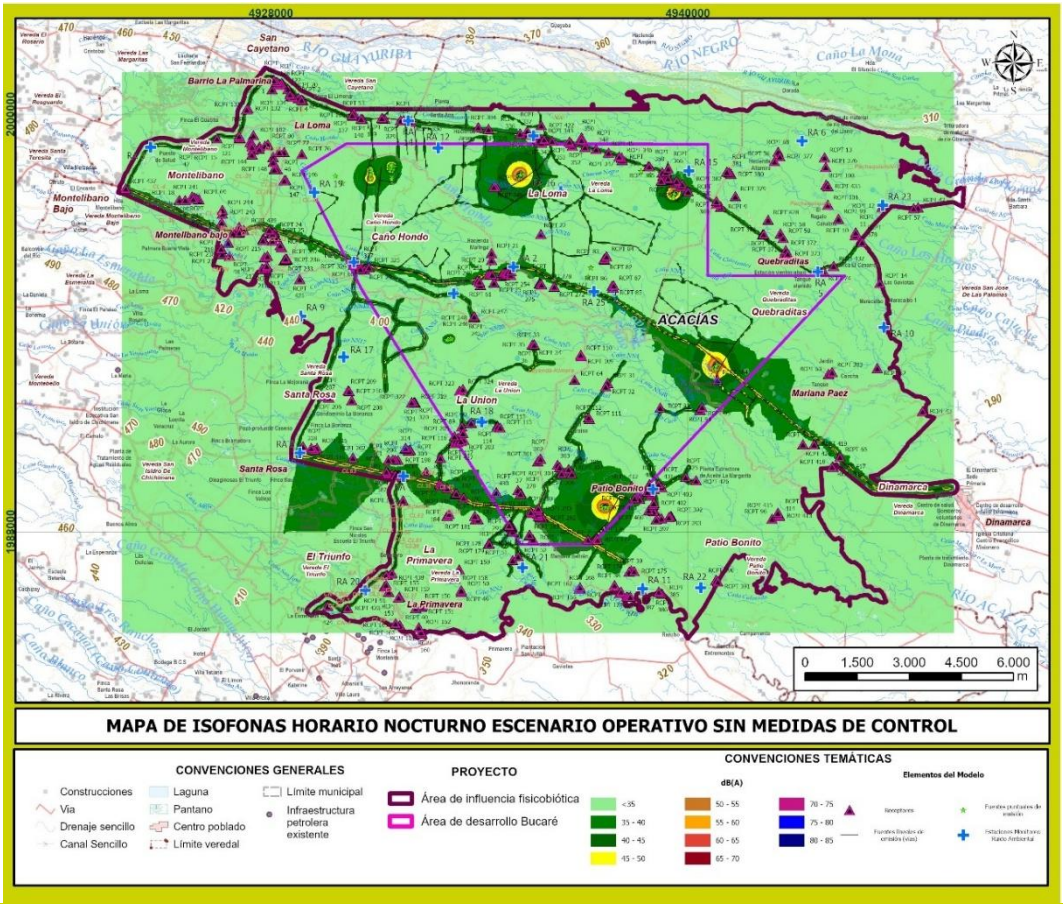


Figura 4-23 Mapa de isófonas del proyecto para el escenario operativo sin medidas de control en escenario nocturno
Fuente: SGI S.A.S ,2025.

4.7.1.5.7.4 Escenario de operación con medidas de control

En este escenario se verifica la magnitud del aporte en los niveles de presión acústica de las fuentes lineales de emisión existentes junto con las fuentes puntuales proyectadas para las actividades en la etapa de perforación, para el periodo de operación futuro considerando aislamientos acústicos para los equipos de generación eléctrica y de combustión interna.

4.7.1.5.7.4.1 Modelo de propagación de ruido del escenario operativo con medidas de control en horario diurno

La **Figura 4-24**, representa la distribución del ruido ambiental en la zona de influencia del proyecto, mediante mapas de isófonas para el escenario operativo con medidas de control en horario diurno. Como se puede observar, la propagación de ruido se genera en torno a las vías contempladas para el modelo y en las zonas donde se harán las actividades de perforación, por tal motivo en estas áreas se evidencian los rangos de presión sonora más altos representados por las tonalidades rojas, que corresponde al rango de los 65 a 70 dB. En este punto se evidencia una disminución notable de las isófonas que rodean los equipos de generación eléctrica durante la fase de perforación, atribuible principalmente a la implementación de controles de emisión establecidos para este escenario. Asimismo, se observan ligeras reducciones en las cercanías de las vías, asociadas a la aplicación de controles de velocidad. No obstante, en términos generales, el comportamiento de las isófonas en los receptores de interés resulta muy similar entre escenarios, lo que indica que las medidas de

control implementadas en horario diurno tienen una incidencia limitada sobre el entorno acústico, el cual se encuentra dominado principalmente por el aporte del ruido vehicular de las vía.

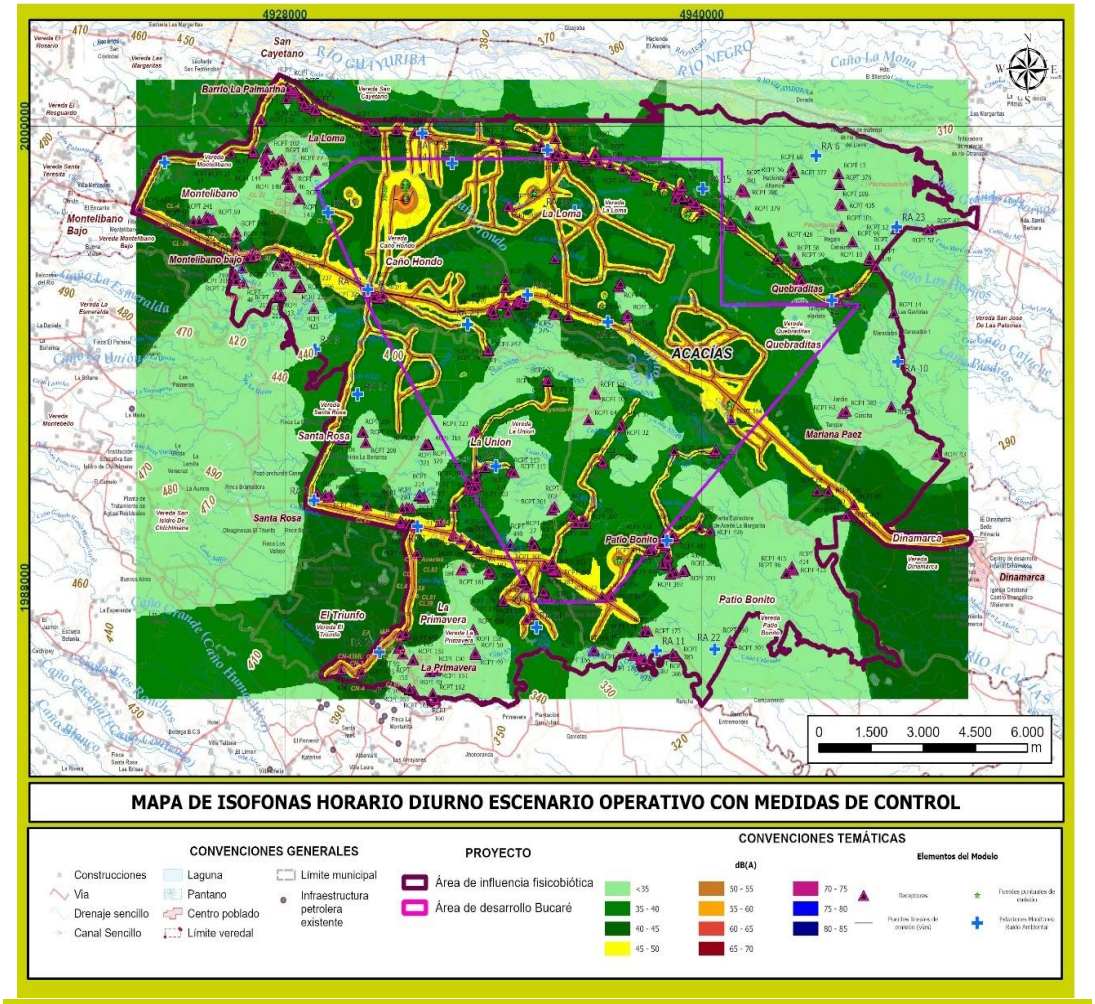


Figura 4-24 Mapa de isófonas del proyecto para el escenario operativo con medidas de control en horario diurno
Fuente: SGI S.A.S ,2025

4.7.1.5.7.4.2 Modelo de propagación de ruido del escenario operativo con medidas de control en horario nocturno

La **Figura 4-25** presenta las isófonas obtenidas para el escenario operativo en horario nocturno, en este se puede observar que las isófonas disminuyen en sus magnitudes de presión sonora y área abarcada en función a las vías, también se observa que los datos más elevados se encuentran entre los 50 a 65 dB, debido a la operación de los generadores, compresores y bombas proyectadas en actividades de perforación (operan 24h). Finalmente, los datos inferiores a 35 dB se encuentran en gran parte de la zona de interés del proyecto debido a la reducción de la actividad vehicular durante la noche. En este periodo se puede apreciar igualmente la reducción en las isófonas, así como en los resultados de los receptores debido a los aislamientos acústicos contemplado en este escenario.

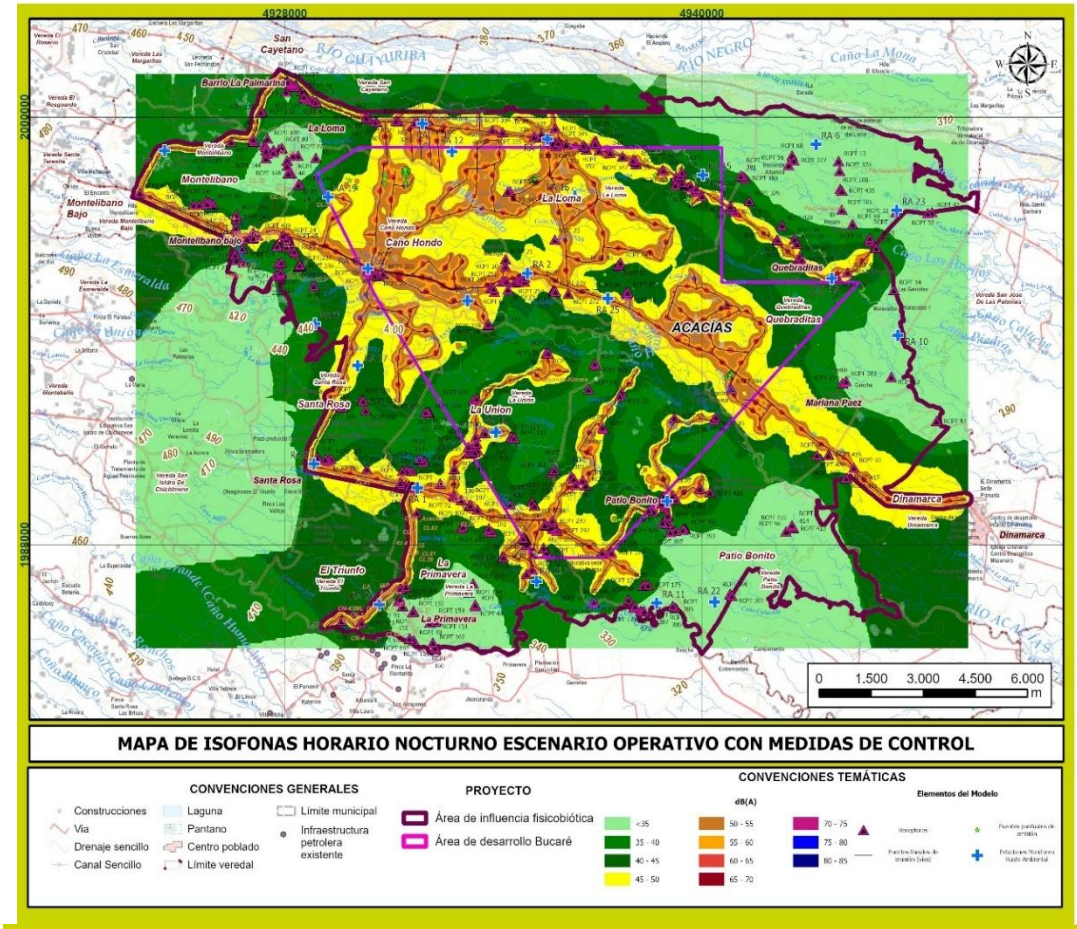


Figura 4-25 Mapa de isófonas del proyecto para el escenario operativo con medidas de control en horario nocturno
Fuente: SGI S.A.S ,2025.

Con base en los resultados obtenidos, se evidencia que, para el escenario de operación en horario nocturno, se presentan incrementos en los niveles de presión sonora en varios de los receptores de interés; no obstante, dichos incrementos se asocian principalmente a las actividades vehiculares consideradas desde la línea base. En contraste, en los receptores ubicados en zonas cercanas a las áreas de intervención del proyecto (tales como plataformas, el CPF y áreas de apoyo), se observa una disminución de los niveles de presión sonora del orden de 2 dB(A).

Adicionalmente, únicamente un receptor presentó reducciones de hasta 11,6 dB(A) durante el periodo nocturno, las cuales se asocian a la implementación de controles de velocidad. Sin embargo, en términos generales, el comportamiento de los niveles de presión sonora entre los receptores resulta muy similar al observado en el escenario sin medidas de control, lo que indica una incidencia limitada de dichas medidas sobre el entorno acústico nocturno.

4.7.1.5.7.5 Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos en la modelación de ruido ambiental, se concluye que, en términos de afectación sobre los receptores sensibles, los niveles de presión sonora equivalente estimados para los escenarios evaluados se mantienen en la mayoría de casos por debajo de los estándares máximos permisibles establecidos en la Resolución 627 de 2006 del MAVDT (hoy MADS) para el Sector D — Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado, exceptuando un

porcentaje menor cuya localización se encuentra muy próxima a las vías. Estos resultados reflejan que, en condiciones normales de operación y construcción, el proyecto cumple con los límites normativos aplicables en materia de ruido ambiental.

La modelación predictiva consideró exclusivamente las fuentes de emisión proyectadas (como maquinaria amarilla y equipos de obra) y las emisiones existentes asociadas a las vías públicas y privadas, identificadas como las principales fuentes potencialmente molestas para la población. Es importante resaltar que la simulación no incorpora la presión sonora aportada por actividades domésticas, comerciales o recreativas, ni por fuentes naturales, ya que estas no hacen parte del alcance de los estudios de modelación ambiental. En consecuencia, el nivel de ruido de fondo o background noise puede estar subestimado respecto a las condiciones reales del entorno.

El escenario de línea base evidenció una incidencia notable sobre el entorno acústico de la zona, atribuible principalmente al tráfico vehicular existente y a la ubicación de un número importante de receptores sensibles en las cercanías de las vías. Esto indica la existencia de una condición preexistente de afectación acústica independiente del desarrollo del proyecto.

De acuerdo con los resultados de la modelación, los equipos contemplados para las fases constructiva y operativa generan incrementos en los niveles de presión sonora con respecto a las condiciones actuales. No obstante, dichos incrementos no alcanzan valores que representen un riesgo para la salud o el bienestar de la población, tal como se evidencia en el análisis realizado sobre los receptores sensibles.

Asimismo, se observa una reducción leve en los niveles de ruido al implementar las medidas de control proyectadas para la fase de operación. Estas medidas benefician principalmente a los receptores ubicados en las proximidades de las fuentes puntuales de emisión (como los generadores eléctricos de operación continua), siendo más efectivas durante el horario nocturno. En los periodos diurnos, el entorno acústico continúa influenciado principalmente por las actividades de transporte y el tráfico vehicular general.

Finalmente, los resultados del modelo indican que, durante la fase de construcción, los impactos acústicos más significativos se concentran principalmente en las zonas de intervención de vías. Esta condición se explica porque el modelo representa el peor caso posible en términos de simultaneidad de fuentes; sin embargo, en la práctica, las intervenciones se ejecutan de manera secuencial y mesurada, conforme al avance del proyecto y sus requerimientos específicos. Según los análisis de escenarios, el escenario constructivo constituye la condición más crítica durante el periodo diurno, debido al uso intensivo de maquinaria amarilla y otros equipos de construcción, mientras que, durante el periodo nocturno, al no contemplarse actividades constructivas, el escenario más crítico corresponde al operativo, en el cual los generadores, taladros, compresores y demás equipos funcionan de manera continua. Aun así, los impactos asociados permanecen dentro del área de influencia del proyecto y no representan afectaciones significativas sobre la población

Por otra parte, se evidencia que los impactos sonoros generados durante la operación no representan un riesgo para la población, ya que los niveles de presión acústica se mantienen contenidos dentro de los límites del área de influencia del proyecto. Solo se registran valores superiores a los establecidos por la normativa en las inmediaciones de las zonas de intervención, lo que confirma que los efectos sobre el entorno acústico son localizados y controlables.