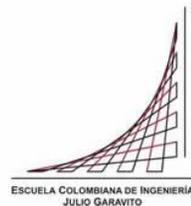


# **Maestría en Ingeniería Civil**

**Lineamientos metodológicos para evaluar el impacto de proyectos de perforación exploratoria de petróleo crudo sobre la calidad del aire.**

**Seidel Manuela Plazas Riaño**

**Bogotá, D.C., septiembre de 2020**



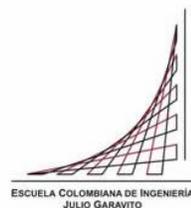
**Lineamientos metodológicos para evaluar el impacto de  
proyectos de perforación exploratoria de petróleo crudo sobre la  
calidad del aire.**

**Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con  
énfasis en ingeniería ambiental**

**Henry Torres Posada**

**Director**

**Bogotá, D.C., septiembre de 2020**



La tesis de maestría titulada “Lineamientos metodológicos para evaluar el impacto de proyectos de perforación exploratoria de petróleo crudo sobre la calidad del aire presentada por Seidel Manuela Plazas Riaño, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Saneamiento Ambiental.

Director de la tesis

Henry Torres Posada

Jurado

Néstor Yesid Rojas R.

Jurado

Richard Diaz Guerrero

Bogotá, D.C., 11 de septiembre de 2020

## **Resumen**

Se realizó una investigación exploratoria a tres (3) casos de licenciamiento ambiental de proyectos denominados Área de Perforación Exploratoria, APE, para analizar la metodología aplicada en delimitación del Área de influencia (AI) del componente atmosférico. Para ello, se consultaron normas colombianas vigentes, términos de referencia y métodos para evaluar impactos en proyectos aprobados por la Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA).

Inicialmente, se consultaron varios Estudios de Impacto Ambiental aprobados por la ANLA, con el fin de extraer la información necesaria para analizar la metodología utilizada. Se encontró que la información estaba incompleta. Al respecto, se evidencia un vacío normativo con relación a la utilización de modelos de dispersión de contaminantes para determinar el AI. De otra parte, ninguno de los casos analizados en los estudios de impacto ambiental utilizó modelos de dispersión para cumplir con este requisito.

Producto de esta experiencia se formuló una propuesta metodológica que sirve como guía para evaluar el impacto ambiental en la calidad del aire para Proyectos de Perforación Exploratoria (PPE).

Palabras clave: Área de influencia, Estudio de impacto ambiental, Calidad del aire, Modelos de dispersión de contaminantes.

## Índice General

1	Introducción y justificación .....	11
1.1	Introducción.....	11
1.2	Justificación.....	12
2	Teorías de investigación .....	14
2.1	Revisión de Metodologías de Evaluación de Impacto .....	14
2.2	Revisión de aspectos técnicos y legales.....	16
2.2.1	Estudios de Impacto Ambiental.....	16
2.2.2	Área de influencia en el contexto internacional .....	19
2.2.3	Área de influencia en el contexto nacional .....	20
2.2.4	Monitoreo de Calidad del aire .....	22
2.2.5	Inventarios de Emisiones .....	23
2.2.6	Modelos de dispersión: .....	24
2.3	Metodología para determinación del Área de Influencia .....	27
2.3.1	Caracterización de fuentes de emisión.....	27
2.3.2	Meteorología.....	32
2.3.3	Receptores y elevación del terreno.....	33
2.3.4	Concentración de fondo .....	33
3	Descripción de los resultados del análisis del estudio de caso .....	34
3.1	Caso proyecto APE Canelo.....	37
3.1.1	Calidad del aire APE Canelo.....	39
3.1.2	Inventario de Emisiones APE Canelo .....	41
3.1.3	Modelo de dispersión APE Canelo .....	45
3.1.4	Área de influencia Directa APE Canelo .....	48
3.2	Caso proyecto APE Santa Ana .....	50
3.2.1	Calidad del aire APE Santa Ana .....	51
3.2.2	Inventario de Emisiones APE Santa Ana.....	54
3.2.3	Modelo de dispersión APE Santa Ana.....	57
3.2.4	Área de influencia Directa APE Santa Ana.....	61
3.3	Caso proyecto APE Tamarín.....	63
3.3.1	Calidad del aire APE Tamarín.....	64
3.3.2	Inventario de emisiones APE Tamarín .....	67
3.3.3	Modelo de dispersión APE Tamarín .....	70
3.3.4	Área de Influencia Directa APE Tamarín.....	73
4	Lineamientos metodológicos.....	76
5	Conclusiones y recomendaciones .....	78
5.1	Conclusiones.....	78
5.2	Recomendaciones .....	79
6	Referencias.....	80

## Índice de tablas

Tabla 1. Metodologías para análisis y evaluación de impactos .....	14
Tabla 2. Factores para estimar la concentración para diferentes periodos de tiempo .....	26
Tabla 3. Meteorología incorporada por el modelo SCREEN3.....	33
Tabla 4. Proyectos de perforación exploratoria .....	34
Tabla 5. Métodos de estimación de emisiones.....	35
Tabla 6. Datos de entrada al modelo RoadConstructionEmissionsModelVer9 .....	36
Tabla 7. Coordenadas del proyecto APE Canelo .....	38
Tabla 8. Localización de estaciones de monitoreo de calidad del aire proyecto APE Canelo (24/12/2012 - 10/01/2013).....	39
Tabla 9. Medidas de tendencia central de la concentración de partículas PM10 de proyecto APE Canelo .....	41
Tabla 10 Medidas de posición relativa de la concentración de partículas PM10 de proyecto APE Canelo .....	41
Tabla 11 Medidas de dispersión de datos de la concentración de partículas PM10 de proyecto APE Canelo .....	41
Tabla 12. Emisión de partículas PM10 proyecto APE Canelo con medidas de mitigación	42
Tabla 13. Emisión de partículas PM10 APE Canelo sin medidas de mitigación .....	43
Tabla 14. Emisión de partículas PM10 en fuentes fijas puntuales APE Canelo.....	44
Tabla 15. Calendario de emisión de partículas PM10 con medidas de mitigación APE Canelo.....	44
Tabla 16. Calendario de emisión de partículas PM10 sin medidas de mitigación APE Canelo .....	45
Tabla 17. Cuantificación del área de influencia directa CMM y SMM.....	49
Tabla 18. Coordenadas APE Santa Ana .....	50
Tabla 19. Localización de estaciones de monitoreo de calidad del aire proyecto APE Santa Ana. (14/07/2010- 23/07/2010) .....	52
Tabla 20. Medidas de tendencia central de la concentración de partículas PST de proyecto APE Santa Ana.....	53
Tabla 21 Medidas de posición relativa de la concentración de partículas PST de proyecto APE Santa Ana.....	54
Tabla 22 Medidas de dispersión de la concentración de partículas PST PM10 de proyecto APE Santa Ana.....	54
Tabla 23. Emisiones APE Santa Ana con medidas de mitigación .....	55
Tabla 24. Emisiones APE Santa Ana sin medidas de mitigación .....	55
Tabla 25. Emisión de fuentes fijas puntuales APE Santa Ana.....	56
Tabla 26. Emisiones mensuales con medidas de mitigación .....	57
Tabla 27. Emisiones mensuales sin medidas de mitigación .....	57
Tabla 28. Cuantificación del área de influencia directa CMM y SMM.....	62
Tabla 29. Localización de estaciones de monitoreo de calidad del aire proyecto APE Tamarín (15/04/2010- 24/04/2010) .....	65
Tabla 30. Medidas de tendencia central en partículas PST, proyecto APE Tamarín.....	66
Tabla 31 Medidas de posición relativa en partículas PST, proyecto APE Tamarín .....	66
Tabla 32 Medidas de dispersión en partículas PST, proyecto APE Tamarín .....	67
Tabla 33. Emisiones APE Tamarín con medidas de mitigación.....	68
Tabla 34. Emisiones APE Tamarín sin medidas de mitigación.....	68
Tabla 35. Emisión de fuentes fijas puntuales APE Tamarín .....	69
Tabla 36. Emisiones mensuales con medidas de mitigación .....	70

Tabla 37. Emisiones mensuales sin medidas de mitigación .....	70
Tabla 38. Cuantificación del área de influencia directa CMM y SMM.....	74

## Índice de figuras

Figura 1. Diagrama de flujo Evaluación de impacto ambiental (EvIA).....	21
Figura 2. Metodología para determinación del área de influencia .....	27
Figura 3. Altura de la capa límite de la estela (“wake boundary”).....	29
Figura 4. Ubicación geográfica APE Canelo. ....	37
Figura 5. Resultados de monitoreo de partículas PM10 APE Canelo, .....	40
Figura 6. Dispersión PM10 construcción vía APE Canelo sin MM .....	46
Figura 7. Dispersión PM10 construcción locación APE Canelo sin MM. ....	46
Figura 8. Dispersión PM 10 construcción vía APE Canelo con MM. ....	46
Figura 9. Dispersión PM10 construcción locación APE Canelo con MM.....	46
Figura 10. Dispersión PM10 Tránsito camioneta APE Canelo sin MM.....	47
Figura 11. Dispersión PM10 Tránsito carrotanque APE Canelo sin MM .....	47
Figura 12. Dispersión PM10 Tránsito camioneta APE Canelo con MM .....	47
Figura 13. Dispersión PM10 Tránsito carrotanque APE Canelo con MM.....	47
Figura 14. Dispersión PM10 operación bomba en plataforma APE Canelo .....	48
Figura 15. Dispersión PM10 operación taladro APE Canelo .....	48
Figura 16. Dispersión PM10 operación campamento APE Canelo. ....	48
Figura 17. Área de Influencia Directa Proyecto APE Tamarín, Con MM .....	49
Figura 18. Área de Influencia Directa Proyecto APE Tamarín, Sin MM .....	50
Figura 19. Ubicación geográfica APE Santa Ana.....	51
Figura 20. Resultados de monitoreo de partículas PST APE Santa Ana. ....	53
Figura 21. Dispersión PST construcción vía APE Santa Ana sin MM. ....	59
Figura 22. Dispersión PST construcción locación APE Santa Ana sin MM.....	59
Figura 23. Dispersión PST construcción vía APE Santa Ana con MM .....	59
Figura 24. Dispersión PST construcción locación APE Santa Ana con MM.....	59
Figura 25. Dispersión PST Tránsito carrotanque APE Santa Ana sin MM .....	60
Figura 26. Dispersión PST Tránsito camioneta APE Santa Ana sin MM.....	60
Figura 27. Dispersión PST Tránsito carrotanque APE Santa Ana con MM.....	60
Figura 28. Dispersión PST Tránsito camioneta APE Santa Ana con MM .....	60
Figura 29. Dispersión PST operación campamento APE Santa Ana. ....	61
Figura 30. Dispersión PST operación bomba en plataforma APE Santa Ana .....	61
Figura 31. Dispersión PST operación taladro APE Santa Ana .....	61
Figura 32. Área de Influencia Directa Proyecto APE Santa Ana, Con MM.....	62
Figura 33. Área de Influencia Directa Proyecto APE Santa Ana, Sin MM .....	63
Figura 34. Ubicación geográfica APE Tamarín. ....	63
Figura 35. Resultados de monitoreo de partículas PST APE Tamarín.....	66
Figura 36. Dispersión PST construcción locación APE Tamarín sin MM. ....	71
Figura 37. Dispersión PST construcción vía APE Tamarín sin MM. ....	71
Figura 38. Dispersión PST construcción locación APE Tamarín con MM. ....	71
Figura 39. Dispersión PST construcción vía APE Tamarín con MM.....	71
Figura 40. Dispersión PST Tránsito camioneta APE Tamarín sin MM. ....	72
Figura 41. Dispersión PST Tránsito carrotanque APE Tamarín sin MM. ....	72
Figura 42. Dispersión PST Tránsito camioneta APE Tamarín con MM.....	72
Figura 43. Dispersión PST Tránsito carrotanque APE Tamarín con MM. ....	72
Figura 44. Dispersión PST operación taladro APE Tamarín.....	73
Figura 45. Dispersión PST operación campamento APE Tamarín.....	73
Figura 46. Dispersión PST operación bomba en plataforma APE Tamarín. ....	73
Figura 47. Área de Influencia Directa Proyecto APE Tamarín, Con MM.....	74

Figura 48. Área de Influencia Directa Proyecto APE Tamarín, Sin MM .....	75
Figura 49. Lineamientos metodológicos. ....	77

## Índice de anexos

Anexo 1. Lista de chequeo PPE consultados.....	85
Anexo 2. Inventario de emisiones y modelo APE Canelo .....	86
Anexo 3. Inventario de emisiones y modelo APE Santa Ana.....	87
Anexo 4. Inventario de emisiones y modelo APE Tamarín .....	88

# 1 Introducción y justificación

## 1.1 Introducción

Diversas investigaciones han demostrado que la contaminación atmosférica afecta de manera significativa la salud humana, los ecosistemas y es una de las causas principales del cambio climático (Organización Mundial de la Salud, 2003). De acuerdo a la organización mundial de la salud diversas enfermedades respiratorias, accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neuropatías crónicas y agudas, entre ellas el asma, están relacionadas con la contaminación atmosférica. (Organización Mundial de la Salud, 2018)

El IDEAM define la contaminación atmosférica como la presencia que existe en el aire de pequeñas partículas o productos secundarios gaseosos que pueden implicar riesgo, daño o molestia para las personas, plantas y animales que se encuentran expuestas a dicho ambiente (IDEAM, 2014)

Diversas actividades antropogénicas son generadoras de contaminantes atmosféricos, así es que conocer la magnitud de los impactos de estas actividades en la calidad del aire es importante para controlar o mitigar sus efectos. En este sentido se han realizado algunas investigaciones, gran parte de ellas encaminadas a los contaminantes emitidos por los vehículos, sin embargo, muy pocas investigaciones se han enfocado a contaminantes atmosféricos emitidos por proyectos de perforación exploratoria (PPE), estos consisten en la perforación de pozos, cuya finalidad es llegar hasta la capa de roca donde posiblemente se pudieron acumular los hidrocarburos.

Para el desarrollo de este proyecto se realizó una evaluación retrospectiva de tres (3) PPE licenciados por la ANLA, donde se analizó la metodología usada para determinar los impactos y la metodología usada para analizar dichos impactos. Adicional a eso se realizó una revisión bibliográfica con el fin de tener una visión global del tema.

El propósito de este trabajo es proponer un conjunto de métodos para evaluar los impactos en la calidad del aire, mediante la determinación del Área de Influencia, generados por las actividades propias de proyectos de perforación exploratoria en Colombia, basados en una evaluación retrospectiva de tres proyectos licenciados y un análisis bibliográfico, esto debido a que Colombia no se cuenta con una metodología para evaluación de impactos en la calidad del aire.

Este documento está organizado en 5 capítulos descritos a continuación:

Capítulo 1. Introducción y justificación: Se describen los antecedentes del trabajo que dan origen al problema planteado, se presenta un resumen general del trabajo, su propósito y su contribución. Posteriormente se da a conocer el contenido de cada capítulo y finalmente se presenta la justificación.

Capítulo 2. Teorías de investigación: Se presenta la revisión bibliográfica de las metodologías de evaluación de impacto en el mundo, algunos aspectos técnicos y legales

relevantes y por último la metodología aplicada actualmente en Colombia para definir el Área de influencia.

Capítulo 3. Descripción de los resultados del análisis del estudio de caso: Se describen los aspectos generales de los 3 proyectos que hacen parte del estudio de caso, posteriormente, se presentan los resultados de los estudios de calidad del aire, inventarios de emisiones y modelaciones de dispersión de contaminantes realizadas. Finalmente, se presentan las áreas de influencia definidas para cada proyecto.

Capítulo 4. Lineamientos metodológicos: Se presenta el conjunto de métodos aplicados en los estudios de caso para determinar el área de influencia de cada proyecto.

Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones: Se presenta una síntesis final de los resultados obtenidos y las recomendaciones para trabajos futuros.

## **1.2 Justificación**

La cadena de producción de petróleo comprende las siguientes etapas: exploración sísmica, perforación exploratoria, producción, refinación, transporte y comercialización. (ANH, 2008). Este proyecto se centró en la etapa de perforación exploratoria de la cadena de producción del petróleo, en lo pertinente al proceso de licenciamiento ambiental, hasta la formulación y seguimiento del plan de manejo ambiental. Esto significó recopilar datos para un periodo de 5 a 10 años sobre estudios de calidad del aire y modelación de dispersión de contaminantes.

Los estudios ambientales del componente atmosférico (monitoreo de calidad de aire y modelación de dispersión de contaminantes) que se han realizado hasta el momento son de carácter privado, realizados por firmas consultoras independientes a la industria privada, en procesos de licenciamiento para perforación exploratoria. Para obtener la licencia es necesario realizar una evaluación de impacto ambiental, en Colombia la evaluación de impacto ambiental se traduce a definir el área de influencia del proyecto. Si bien, existen guías para la evaluación de impacto ambiental, los criterios de aplicación pueden ser variados por cuanto están sujetos a interpretación del concepto “área de influencia” del proyecto. Este concepto fue enunciado por la legislación colombiana y no se definió claramente a tiempo, asumiendo que era claro y de consenso por parte de la comunidad científica de evaluación de impacto ambiental. (ANH, 2008)

AID (Área de influencia directa): Los impactos potenciales pueden afectar con mayor intensidad y de manera inmediata los componentes ambientales

All (Área de influencia indirecta): Afecta los componentes ambientales con menor intensidad debido al uso compartido del espacio territorial local y recursos con otras instalaciones y la población.

Pues bien, los conceptos área de influencia directa, AID, y área de influencia indirecta, All, aparecen por primera vez con el Manual de Evaluación de Estudios Ambientales (Ministerio de Medio Ambiente, 2002) y 16 años después se establecen lineamientos, mediante la Guía para la Definición, Identificación y Delimitación del Área de Influencia (ANLA, 2018). Es

oportuno entonces, realizar una evaluación retrospectiva de lo que se hizo en el pasado, para proponer posibles sugerencias con la nueva reglamentación.

Los proyectos de perforación exploratoria, hacen referencia a la elaboración de la infraestructura necesaria para poner en servicio la capacidad de extracción de crudo de petróleo desde la boca de pozo incluyendo el transporte hasta centros de acopio o almacenamiento, para posterior envío a la refinería más cercana. Dicho de otra manera, se construyen las instalaciones que permiten llevar el crudo de petróleo hasta el destino final. Estas instalaciones son: carreteras veredales, y campamentos para alojamiento de maquinaria, equipos y personal, para funcionamiento ininterrumpido, este tipo de proyectos se encuentran retirados del sistema de interconexión eléctrica nacional, por esto deben utilizar generadores de energía, hay movimiento de tierra y flujo elevado de vehículos pesados para transporte de materiales y equipos.

Generalmente los campos de producción de petróleo se encuentran en zonas veredales, por lo que se aprovecha al máximo la infraestructura existente. En estos casos, es necesario realizar adecuaciones de carreteras para que asimilen el peso de los nuevos vehículos de transporte de carga, o se deben construir las vías por completo si estas no existen. Se puede inferir que la ubicación de estos proyectos se debe hacer con una buena planificación, para reducir al máximo impactos de los residentes aledaños a las carreteras. Pues a campo se llevan mucha maquinaria pesada para movimiento de tierra de excavación, afirmado de suelo y transporte de materiales.

Los campamentos o instalaciones de los campos de producción, deben albergar la maquinaria y el personal requerido para que se garantice la operación del campo petrolero en producción. Si bien el proyecto corresponde a la construcción, se deben crear en su interior todo lo necesario para que se garantice la operación anual, esto es, generadores para producción de energía, cuando está apartado del sistema de interconexión eléctrica nacional; planta de tratamiento de agua potable, planta de tratamiento de aguas residuales industriales, almacenamiento de combustible líquido para vehículos y generadores, tanques de almacenamiento de petróleo crudo, albergue para equipos en área de mantenimiento, alojamientos para el personal, casino, oficinas, entre otros.

Como se puede apreciar hay tres grandes actividades generadoras de emisiones contaminantes estos son: la construcción de vías terrestres, la construcción de infraestructura, y el transporte de crudo, obtenido de pruebas cortas de producción de petróleo. La legislación colombiana (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017) exige presentación de resultados de monitoreo ambiental de los siguientes contaminantes: partículas (PST, PM10, PM2.5), gases (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>), y compuestos orgánicos (PAH).

Para la evaluación de proyectos industriales, se asume que los impactos son de escala local, y por tal razón los contaminantes no sufren transformaciones químicas, situación que simplifica la utilización de modelos de dispersión de baja complejidad. De otra parte, existen métodos usualmente utilizados para evaluar efectos adversos de proyectos industriales de uso tradicional, como estudios de campo y modelación de dispersión de contaminantes, pero debe explorarse alternativas que permitan evaluar de manera objetiva los impactos a corto plazo. La calidad del aire es afectada por actividades antropogénicas, generalmente de gran impacto, que afecta la salud de la población.

## 2 Teorías de investigación

### 2.1 Revisión de Metodologías de Evaluación de Impacto

Las metodologías de evaluación son mecanismos estructurados para comparar, organizar y analizar información sobre impactos ambientales de un proyecto (Ribeiro de Almeida, y otros, 2008). La metodología de EIA se elige en base a las características particulares de cada proyecto y por lo general se aplica en la fase de ante proyecto. En la normativa colombiana es un requisito fundamental para dar inicio a este tipo de estudios. En la Tabla 1 se listan las metodologías más utilizadas en Colombia.

Tabla 1. Metodologías para análisis y evaluación de impactos

Metodología	Características
<b>Listas</b>	<p>Contienen una serie de puntos, asuntos de impacto ambiental y/o cuestiones que el usuario verificará como parte del estudio de impacto (Canter &amp; Sadler, 1997).</p> <p>Existen varios tipos de listas: simples, descriptivas, de verificación y escala, de verificación, escala y ponderación (Ribeiro de Almeida, y otros, 2008).</p>
<b>Matrices</b>	<p>Este método sirve para relacionar las acciones de los proyectos con factores ambientales (causa/efecto) mediante matrices de doble entrada.</p> <p>La matriz de Leopold es un método desarrollado por el Servicio Geológico del Departamento de Interior de Estados Unidos. Su principio básico consiste en señalar todas las interacciones posibles, entre las acciones y los factores para luego establecer, la magnitud y la importancia de cada impacto, identificando si el mismo es positivo o negativo (Ribeiro de Almeida, y otros, 2008, pág. 73).</p>
<b>Redes de interacción</b>	<p>Son flujogramas que representan una secuencia de operaciones o interacciones entre componentes de un sistema (Ribeiro de Almeida, y otros, 2008, pág. 79). Esta metodología define las conexiones o relaciones entre acciones proyectadas e impactos ambientales resultantes, mediante la representación gráfica de dichas acciones e impactos. (Viloria Villegas, 2015).</p>
<b>Sistemas cartográficos</b>	<p>Un SIG (Sistema de Información Geográfico) es un sistema informático usado para la entrada, almacenamiento, transformación, visualización, creación de mapas y análisis de datos espaciales y no espaciales. Las herramientas SIG son ideales para identificar, evaluar y presentar impactos ambientales. (Arce Ruiz, Ortega Pérez, &amp; Otero Pastor, 2010) (Viloria Villegas, 2015, pág. 40). El principio básico de un SIG es</p>

Metodología	Características
	la sobreposición de mapas y se utiliza para describir las condiciones existentes y desplegar cambios potenciales resultantes de una acción propuesta.
<b>Indicadores o índices</b>	Estos métodos sirven para representar o parametrizar la amplitud o cantidad de medios o recursos, basados en el uso de indicadores. Son datos numéricos que sirven para describir, predecir y evaluar impactos ambientales. (Canter & Sadler, 1997). Se conocen aplicaciones de este método con herramientas desarrollados por Holmes, Universidad de Georgia, Hill-Schechter, Fisher-Davies, índices de importancia y monitorización. (Viloria Villegas, 2015).
<b>Cantidades o cuantitativos</b>	BATTELLE es uno de los más representativos, en este se tienen 78 indicadores de impacto que se ordenan según 18 componentes ambientales divididos en cuatro categorías, y se realiza una asignación para la evaluación (planificación, toma de decisiones) en el campo de los recursos hídricos. (Zeleňáková & Zvijáková, 2017)
<b>Análisis multicriterio</b>	Sirven de apoyo para la toma de decisiones. Tienen su origen hacia el año 1960, cuando la decisión multicriterio se individualiza, adoptando su propia metodología y su problemática aplicada a: el problema de seleccionar una alternativa en presencia de criterios múltiples, usualmente en conflicto entre sí. (Fernández Barberis & Escribano Ródenas, 2011).
<b>Métodos de simulación o predicción</b>	Esta metodología es utilizada para prestar atención de forma anticipada a los cambios en el medio ambiente o los recursos, como resultado de actuaciones y/o acciones propuestas. (García Leyton, 2004, pág. 45) Pueden ser modelos matemáticos, físico-matemáticos o físicos complementados por pruebas experimentales, con el fin de predecir efectos y evaluar alternativas. Su función es representar el comportamiento de los parámetros ambientales y las interacciones entre las causas y efectos. (Ribeiro de Almeida, y otros, 2008). Para calidad del aire uno de los modelos más conocidos es el de dispersión Gaussiánica de la pluma (Stern, 1976; Hanna et al. 1982). Son bastante eficaces cuando las reacciones químicas y fotoquímicas que ocurren en la atmósfera no son importantes, en el caso contrario, hay necesidad de calibrar el modelo. (Ribeiro de Almeida, y otros, 2008, pág. 86)
<b>Software para EvIA</b>	Este tipo de herramientas especializadas permiten realizar la evaluación de impacto de forma digital, lo que facilita el manejo de grandes volúmenes de información y la presentación de resultados. Algunos ejemplos de software:

Metodología	Características
	<p>Software EIA09: Es una aplicación open-source, permite la definición de diferentes alternativas de realización del proyecto, en las cuales se indican y valoran los impactos ambientales según se considere apropiado.</p> <p>ProUCL: Es un paquete integral de software estadístico desarrollado inicialmente por la EPA para calcular intervalos estadísticos. (EPA, 2016)</p> <p>IMPACT 2002: Este programa tiene categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos de caracterización aceptados internacionalmente, es decir, basados en un acuerdo internacional o aprobados por un organismo internacional competente (Lisboa, 2012). (Viloria Villegas, 2015, pág. 47)</p>
<p><b>Ad-Hoc (Opinión de expertos)</b></p>	<p>Se utiliza para identificar los impactos específicos de un proyecto en las áreas de conocimiento de cada experto, sobre diferentes componentes ambientales. Incluye estudios Delphi y el uso del proceso adaptativo de evaluación ambiental. Con esta orientación, los grupos de expertos identifican la información apropiada y elaboran modelos cualitativos/cuantitativos para la predicción de impactos o para simular procesos ambientales. (Canter &amp; Sadler, 1997)</p>

*Fuente: Elaboración propia.*

## 2.2 Revisión de aspectos técnicos y legales

### 2.2.1 Estudios de Impacto Ambiental

Los Estudios de Impacto Ambiental para proyectos de perforación exploratoria de hidrocarburos son regulados actualmente (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014) para la determinación del AI mediante el documento M-M-INA-01<sup>1</sup>. Inicialmente se delimita un área de influencia preliminar, después, con los resultados de la evaluación ambiental realizada para el EIA se realiza un proceso iterativo que permita ajustar el área de influencia preliminar a una definitiva.

Este documento es similar, en su mayoría, al elaborado por el Ministerio de Ambiente, vivienda y Desarrollo Territorial (2010) conocido como HI-TER-1-03. Sin embargo, este se orienta a la etapa de perforación exploratoria que es el enfoque de este trabajo, por este motivo se realizó un análisis detallado del documento, a continuación, se muestran los aspectos más relevantes:

<sup>1</sup> Resolución 0421 de 20 de marzo de 2014

- Relacionar la duración del proyecto, cronograma de actividades, entre otros.<sup>2</sup>

La duración de las actividades indica duración de posibles impactos.

- Describir el tipo de vías e infraestructura existente que serán usadas durante proyecto, detallar su estado actual. Presentar esta información en mapas a escala de 1:25.000 o mayor.<sup>3</sup>
- Describir las actividades para cada fase del proyecto y los diseños tipo de las obras a construir (vías, plataformas, locaciones, pozos, estructuras de conducción de agua, áreas y bodegas de almacenamiento, piscinas, áreas de instalación de equipos, áreas de operación, obras civiles, campamentos, líneas de flujo y otro tipo de transporte dentro del área a licenciar, asociado a las actividades de perforación exploratoria, entre otras). Describir las actividades de mantenimiento para la infraestructura proyectada descrita.<sup>4</sup>
- Detallar especificaciones técnicas de las vías proyectadas, cantidades de materiales y volúmenes de disposición, métodos constructivos e instalaciones de apoyo (campamentos, talleres, plantas y caminos de servicio, entre otros), obras de arte tipo, estimación de longitud máxima (en km) a construir tanto para el acceso al APE como al interior de la misma. Presentar la información en mapas a escala de 1:25.000 o mayores y para las obras de arte y las locaciones e infraestructura relacionada a escala de diseño.<sup>5</sup>
- Detallar número de plataformas proyectadas, áreas máximas a utilizar, áreas para las instalaciones tempranas de producción, área para la adecuación de Zonas de Manejo de Escombros y Material de Excavación (en adelante ZODME), métodos constructivos de las obras proyectadas, Fuentes de emisiones atmosféricas que se generarán en cuanto a gases y o material particulado, maquinaria y equipos a utilizar, entre otras.<sup>6</sup>

Con esta información se podrían estimar emisiones por tránsito de vehículos pesados hacia la zona de ejecución del proyecto.

- Describir número máximo de pozos a perforar, número máximo de plataformas, número máximo de pozos por plataforma, los equipos, maquinaria, sistemas y procesos de perforación, los requerimientos de insumos y fuentes de energía, entre otros.<sup>7</sup>
- Detallar métodos de construcción, maquinaria, equipos, longitud, diámetro y profundidad estimada de las líneas de flujo y ancho del derecho de vía, entre otros. En caso de transporte por carrotanque: Vías potenciales a utilizar.<sup>8</sup>
- Presentar volúmenes estimados de material a disponer, descripción de manejo de materiales sobrantes y escombros incluyendo su manejo hidráulico, estabilidad geotécnica y diseños tipo, descripción de las condiciones requeridas para la

---

<sup>2</sup> Numeral 3.2 Características del proyecto

<sup>3</sup> Numeral 3.2.1 Infraestructura existente en el APE:

<sup>4</sup> Numeral 3.2.2 Fases y actividades del proyecto

<sup>5</sup> Numeral 3.2.2.1 Vías de acceso al área y locaciones

<sup>6</sup> Numeral 3.2.2.1 Vías de acceso al área y locaciones

<sup>7</sup> Numeral 3.2.2.2 Perforación de pozos

<sup>8</sup> Numeral 3.2.2.3 Transporte de fluidos de producción

disposición, posible localización georreferenciada y mapas topográficos con planimetría y altimetría de los sitios potenciales para la ubicación de las ZODME, entre otros.<sup>9</sup>

Esta información es útil si se quiere estimar las emisiones causadas por realizar estas actividades.

- Incluir el plazo de duración del proyecto y el cronograma de actividades de perforación exploratoria, para cada una de las fases del mismo.<sup>10</sup>
- Detallar información climática de la zona a nivel mensual multianual usando información de las estaciones meteorológicas existentes, en caso de no encontrar la información puede ser tomada de los datos de re análisis global, obtenidos directamente de internet de fuentes confiables y que puedan ser validadas.<sup>11</sup>
- Identificar y georreferenciar los potenciales receptores y las fuentes de emisiones atmosféricas existentes en el área: fijas, lineales y de área, antrópicas y naturales.<sup>12</sup>
- Presentar una evaluación de la calidad del aire en el área de influencia del componente atmosférico considerando: a) Las fuentes de emisiones atmosféricas (gases y material particulado) existentes en el área de influencia del componente atmosférico: fijas, lineales, de área y móviles; y b) La ubicación cartográfica de potenciales receptores.<sup>13</sup>
- Requerimientos adicionales cuando solicite permiso de emisiones atmosférica. Incluye la aplicación de un modelo de dispersión.<sup>14</sup>
- A partir de la caracterización del área de influencia se debe realizar la identificación y evaluación de impactos ambientales.<sup>15</sup>

Así las cosas, el estudio que se realice debe detallar las metodologías de evaluación empleadas, los criterios de valoración y la escala espacial y temporal de la valoración. La metodología utilizada debe facilitar un análisis integrado, global, sistemático y multidisciplinario, y la evaluación de impactos debe incluir una discusión sobre las relaciones causales.

Los términos de referencia requieren presentar bastante información detallada, que de ser presentada sería de gran utilidad para realizar una modelación de dispersión de contaminantes.

Adicionalmente, requiere hacer modelación de dispersión de contaminantes solamente cuando solicite permiso de emisiones atmosféricas. Sin embargo, como se verá a continuación es necesaria la modelación de dispersión de contaminantes para determinar el área de influencia.

---

<sup>9</sup> Numeral 3.2.5 Materiales sobrantes de excavación y escombros.

<sup>10</sup> Numeral 3.2.8 Cronograma del proyecto

<sup>11</sup> Numeral 5.1.8.1 Clima.

<sup>12</sup> Numeral 5.1.8.2 Inventario de emisiones

<sup>13</sup> Numeral 5.1.8.3 Calidad del aire

<sup>14</sup> Capítulo 7.8 Emisiones atmosféricas

<sup>15</sup> Capítulo 8. 8. Evaluación ambiental

## 2.2.2 Área de influencia en el contexto internacional

De acuerdo al Banco Mundial (2011) el área de influencia del proyecto es:

---

*“...El área que probablemente se verá afectada por el proyecto, incluidos todos sus aspectos auxiliares, como corredores de transmisión de energía, tuberías, canales, túneles, caminos de reubicación y acceso, áreas de préstamo y disposición y campamentos de construcción, así como desarrollos no planificados inducidos por el proyecto...”*

---

En sur américa es común encontrar el área de influencia diferenciada como Área de influencia directa y Área de influencia indirecta. Así sucede en Argentina, Perú y Colombia.

En Argentina dentro de su legislación no se encuentra el concepto de área de influencia, sin embargo, aparece en el Manual de Evaluación y Gestión Ambiental de Obras Viales (MEGA II), aprobado por Resolución A.G. N° 1604/07, área de influencia se define como (Ministerio de planificación federal, inversión pública y Servicios, 2007, pág. 56):

---

*“...Área de influencia directa: Abraca la porción, sector o componente del medio receptor que probablemente se verá afectada directa o indirectamente por la planificación, construcción u operación de la obra vial y de todos sus aspectos subordinados.*

*Área de influencia indirecta: Áreas afectadas por cambios ocasionados en el transporte de personas, bienes y servicios a través de rutas migratorias y comerciales como consecuencia de la operación del nuevo emprendimiento vial...”*

---

En Perú, de acuerdo a la Resolución Ministerial N° 547-2013-MEM/DM, que establece los Términos de Referencia para Estudios de Impacto de Proyectos de Inversión con características comunes o similares en el subsector electricidad, el área de influencia puede ser directa, en cuyo caso corresponde a la zona donde se manifiestan los impactos directos generados por las actividades de construcción y operación relacionándose con el sitio del proyecto y su infraestructura asociadas; o puede ser indirecta, en cuyo caso corresponde a la zona donde los impactos trascienden el espacio físico del proyecto y su infraestructura asociada, es decir, la zona externa al área de influencia directa y se extiende hasta donde se manifiestan los impactos indirectos. (Ministerio de Energía y Minas, 2013).

Sin embargo en Chile el Área de influencia está definida por Ministerio del Medio Ambiente en su Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental D.S. N° 40/2012 como el área o espacio geográfico, cuyos atributos, elementos naturales o socioculturales deben

ser considerados con la finalidad de definir si el proyecto o actividad genera o presenta alguno de los efectos, características o circunstancias del artículo 11 de la Ley, o bien para justificar la inexistencia de dichos efectos, características o circunstancias. (Ministerio del Medio Ambiente, 2014). A diferencia de las definiciones encontradas para Argentina, Perú y Colombia, en Chile la definición está orientada a determinar si el área presenta efectos negativos, si no es así no existiría Área de influencia.

### **2.2.3 Área de influencia en el contexto nacional**

De acuerdo a la ANLA en su documento Guía para la Definición, Identificación y Delimitación del Área de Influencia (ANLA, 2018), el área de influencia es aquella en la que se manifiestan los impactos ambientales significativos- derivados del desarrollo del proyecto, obra o actividad. (ANLA, 2018, pág. 16) La definición del área de influencia de un proyecto, obra o actividad reviste gran importancia dentro del licenciamiento ambiental, por cuanto tiene implicaciones en el desarrollo de todo el Estudio de Impacto Ambiental, en sus diferentes capítulos: caracterización ambiental; zonificación ambiental y de manejo, demanda, uso, aprovechamiento y/o afectación de los recursos naturales; evaluación ambiental y planes y programas. (ANLA, 2018, pág. 12)

En la gráfica que se muestra a continuación se puede apreciar un proceso típico de Estudio de impacto ambiental y en qué parte de este proceso se encuentra la determinación del AI.

A continuación, se muestran los datos más relevantes encontrados en la Guía para la Definición, Identificación y Delimitación del Área de Influencia (ANLA, 2018):

- El cambio más importante de dicha actualización consiste en reemplazar el concepto de área de influencia directa e indirecta, por el de área de influencia por componente, grupos de componentes o medios potencialmente impactados por el desarrollo de un proyecto, obra o actividad.<sup>16</sup>
- El alcance de esta guía corresponde a orientaciones para la definición, identificación y delimitación del área de influencia, que debe realizar el interesado de un proyecto, obra o actividad con el fin de solicitar autorización ambiental para el desarrollo y la ejecución de un proyecto, obra o actividad ante una autoridad ambiental competente. La guía no corresponde a un manual para los profesionales de la autoridad ambiental que evalúan los Estudios de Impacto Ambiental, ni pretende reglamentar el tema de áreas de influencia; sin embargo, contiene elementos orientadores que podrán contribuir a los procesos de evaluación que realizan dichos profesionales.<sup>17</sup>

---

<sup>16</sup> Capítulo 3. Introducción

<sup>17</sup> Capítulo 3. Introducción



Figura 1. Diagrama de flujo Evaluación de impacto ambiental (EVA). Fuente: (Servicio de Evaluación Ambiental, 2017)

- Las diferencias existentes entre las dinámicas propias de cada uno de los impactos sobre los componentes ambientales dificultan el manejo de una única área de influencia para estos componentes y/o medios.<sup>18</sup>
- La ANLA emitió las siguientes definiciones con el fin de realizar la definición, identificación y delimitación del área de influencia:

**Medio:** división general que se realiza del ambiente para un mejor análisis y entendimiento del mismo. En el contexto de los estudios ambientales corresponde al abiótico, biótico y socioeconómico.

**Componentes:** aspectos ambientales que constituyen un medio (abiótico, biótico o socioeconómico) como, por ejemplo, componente atmosférico, hidrológico, faunístico, demográfico, entre otros.<sup>19</sup>

<sup>18</sup> Capítulo 5. Justificación

<sup>19</sup> Capítulo 7. Generalidades para la definición, identificación y delimitación del área de influencia.

- Es importante estimar la localización, tipo e intensidad de uso de los recursos durante la ejecución del proyecto, así como posibles impactos generados. Para efectos de la caracterización ambiental de las áreas de influencia, se debe presentar información primaria y secundaria de cada componente, grupos de componentes o medios.<sup>20</sup>
- La identificación y valoración de impactos debe realizarse de acuerdo a las metodologías disponibles, debe ser objetiva y cuantificable; de no serlo, debe soportarse técnicamente y los impactos serán valorados cualitativamente.<sup>21</sup>

Es así como la ANLA (ANLA, 2018) propone una metodología para abordar la solución del problema en tres (3) etapas: pre-campo, campo y pos-campo. En general en la etapa pre-campo se realizan procedimientos de recolección de información (cartográfica, puntos de interés, vías de acceso, etc.) y se define un área de influencia preliminar; en la etapa de campo se realiza reconocimiento del área, levantamiento de información primaria, talleres con la comunidad y se hace un ajuste in situ los límites del área de influencia preliminar; por último, en la etapa pos-campo se realiza la interpretación de resultados del trabajo de campo y mediante un proceso iterativo se ajusta el área de influencia preliminar (ANLA, 2018, pág. 15).

Dentro de las recomendaciones presentadas en el documento se encuentran las modelaciones numéricas (ANLA, 2018, pág. 18):

---

*“...Componente atmosférico (Calidad del Aire). El modelamiento de dispersión de las emisiones generadas por las fuentes asociadas al proyecto en sus diferentes fases se debe determinar a partir de la isopleta (isolínea de concentración) de emisiones de las fuentes a ser emplazadas. Para esto, se debe tomar como referencia la isopleta encontrada de mayor extensión entre la concentración modelada anual de PM10 (fondo incluido) de 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y la concentración modelada anual de PM2.5 (fondo incluido) de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En caso de no contemplar descargas de material particulado durante ninguna de las fases de la ejecución del proyecto, se deberá tomar la isopleta del valor objetivo para el parámetro de referencia escogido acorde a lo establecido por la Organización Mundial de la Salud – OMS...”*

---

#### **2.2.4 Monitoreo de Calidad del aire**

De acuerdo al IDEAM se define como monitoreo atmosférico a todas las metodologías usadas para muestrear, analizar y procesar en forma continua las concentraciones de sustancias o de contaminantes presentes en el aire en un lugar establecido y durante un tiempo determinado. Su importancia radica en que para: a) formular los estándares de calidad de aire, b) llevar a cabo estudios epidemiológicos que relacionen los efectos de las

<sup>20</sup> Capítulo 7. Generalidades para la definición, identificación y delimitación del área de influencia.

<sup>21</sup> Capítulo 8. Definición del área de influencia.

concentraciones de los contaminantes con los daños en la salud, c) especificar tipos y fuentes emisoras, d) llevar a cabo estrategias de control y políticas de desarrollo acordes con los ecosistemas locales, y e) desarrollar programas racionales para el manejo de la calidad del aire, se requiere de una base de datos que aporte información para la realización de todos estos estudios la cual se genera a partir del monitoreo atmosférico. (IDEAM).

Un Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire – SVCA se puede definir como un conjunto de equipos de monitoreo de los contaminantes atmosféricos, que se encuentran instalados en un lugar de interés con un propósito determinado; esta infraestructura debe estar acompañada de todas las actividades necesarias para su correcto funcionamiento, dentro de las cuales se puede mencionar la operación por personal calificado, programas de mantenimiento preventivo y correctivo, un sistema de administración de información que permita una correcta validación de los datos, entre otras. Su implementación se realiza bien sea cuando se presenta una problemática específica relacionada con la calidad del aire, o en zonas con población por encima de los cincuenta mil habitantes. (Sistema de Información Ambiental de Colombia, s.f.)

### **2.2.5 Inventarios de Emisiones**

Con el fin de obtener resultados aceptables a raíz de la utilización de un modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos, es necesario contar con gran cantidad de información veraz referente a la descripción de las emisiones y a los datos meteorológicos.

De acuerdo a la EPA, un inventario de emisiones atmosféricas caracteriza y consolida las emisiones mediante sumatoria, de acuerdo con el tipo de fuente y el tipo y cantidad de contaminantes emitidos, en un área geográfica y en un intervalo de tiempo determinados (EPA, 1999).

El proceso de elaboración de un inventario de emisiones atmosféricas consta de cuatro etapas: a) formulación, b) planificación, c) ejecución, d) evaluación y actualización. (Gaitán Varón & Cárdenas Ruíz, 2017)

El propósito del inventario de emisiones dependerá del uso que se le quiera dar a la información resultante, por ejemplo: Generar información de emisiones para formular y evaluar estrategias enfocadas a la prevención y control de la contaminación del aire, ó: Generar información de soporte para la modelación de la calidad del aire. (Gaitán Varón & Cárdenas Ruíz, 2017)

La estimación de emisiones se puede realizar por diversos métodos, los más comunes son medición directa que requiere medición en cada una de las fuentes, balance de masas que requiere de información detallada de las entradas y salidas presentes en cada uno de los procesos y en cada una de las fuentes involucradas, durante un periodo determinado; y factores de emisión, este método es usado comúnmente ya que en muchos casos no es posible contar con mediciones directas durante todo el periodo de evaluación en todas las fuentes a inventariar.

Un inventario de emisiones otorga una amplia visión sobre el nivel de contaminación en un área determinada durante un periodo de tiempo específico, esta herramienta puede ser

utilizada para determinar cuáles actividades generan más o menos contaminantes, como es el caso de la construcción.

### **2.2.6 Modelos de dispersión:**

Para dar solución al problema de la contaminación atmosférica se han tomado diferentes directrices, entre las cuales se encuentra la aplicación de modelos de dispersión de contaminantes como medio de predicción, sin embargo, los modelos existentes son complejos por lo que su aplicación, aunque es común, requiere de profesionales expertos en el tema.

Hasta hace muy poco tiempo la capacidad de cálculo de los sistemas informáticos limitaba la aplicación operativa de los modelos de calidad del aire debido a la necesidad de utilizar grandes recursos informáticos con velocidades de proceso muy altas, así como los costos asociados que conllevaban. En la actualidad, tanto por el aumento del nivel de potencia de cálculo y de la capacidad de visualización de los resultados, como de unos costos mucho más reducidos, es posible un uso mucho más amplio de estos medios, y ello hace posible la utilización de los modelos de calidad del aire como un instrumento más de gestión. Para estos efectos, en algunos países se han desarrollado guías o metodologías que facilitan la aplicación de los modelos.

De acuerdo al (Convenio Interadministrativo 0133-2015 entre el Establecimiento Público Ambiental de Cartagena – EPA y la Universidad de Cartagena., 2015) la modelación de la calidad del aire es una herramienta matemática y computacional que debe ser aplicada para la toma de decisiones de carácter regulatorio.

Actualmente existen diversos modelos de dispersión de contaminantes que utilizan formulaciones matemáticas para caracterizar los procesos atmosféricos que dispersan un contaminante emitido por una fuente, con base en las emisiones e información meteorológicas. Estos modelos pueden predecir concentraciones de contaminantes en puntos específicos.

Los modelos pueden ser tipo “screening”, es decir, modelos sencillos, o pueden ser modelos refinados, estos requieren información de ingreso mucho más precisa. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), ha desarrollado varios modelos que son de uso gratuito, algunos de ellos sencillos y otros refinados.

Entre los modelos refinados más comunes se encuentra: AERMOD Modeling System, CAL3QHC/CAL3QHCR, CTDMPLUS y OCD . (EPA, 2016)

Entre los modelos “screening” más comunes se encuentran: AERSCREEN, COMPLEX1, CTSCREEN, RTDM3.2, SCREEN3, TSCREEN, VALLEY, and VISCREEN. (EPA, 2016)

Para el desarrollo de este proyecto se eligió el modelo tipo “screening” SCREEN3, ya que no se encontró información meteorológica que pudiera servir para aplicar un modelo refinado. SCREEN3 es un modelo amigable que se ejecuta interactivamente, lo que significa que el programa le hace al usuario una serie de preguntas con el fin de obtener los datos de entrada necesarios y para determinar qué opciones utilizar. (EPA, 2000)

El SCREEN3 es un modelo de dispersión de contaminantes unidimensional desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA), este es un modelo de pluma gaussiana de fuente única que proporciona concentraciones máximas a nivel del suelo para fuentes puntuales, de área, de liberación por teas y de volumen. (EPA, 2013)

Para estimar los niveles de contaminantes del aire, el modelo SCREEN3 incorpora diferentes factores relacionados con la fuente de emisión y los parámetros meteorológicos. El modelo supone que el contaminante del aire no se elimina por reacciones químicas o por otros procesos. (Khaniabadi, y otros, 2018)

Las concentraciones a nivel del suelo en dirección del viento se calculan de la siguiente manera (ecuaciones (1) y (2)):

$$X = \frac{Q}{2\pi u_s \delta_y \delta_z} \left\{ \exp \left[ -0.5 \left( \frac{z_r - h_e}{\delta_z} \right)^2 \right] + \exp \left[ -0.5 \left( \frac{z_r + h_e}{\delta_z} \right)^2 \right] + A \right\}$$

$$A = \sum_{N=1}^K \left[ \exp \left( \frac{-0.5(z_r - h_e - 2Nz_i)}{\delta_z} \right)^2 + \exp \left( \frac{-0.5(z_r + h_e - 2Nz_i)}{\delta_z} \right)^2 + \exp \left( \frac{-0.5(z_r - h_e + 2Nz_i)}{\delta_z} \right)^2 + \exp \left( \frac{-0.5(z_r + h_e + 2Nz_i)}{\delta_z} \right)^2 \right]$$

Donde X ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y Q (g/s) son respectivamente, la concentración a favor del viento y la tasa de emisión del contaminante del aire,  $u_s$  (m/s) es la velocidad del viento sobre la chimenea,  $\delta_y$  (m) y  $\delta_z$  (m) son la desviación estándar de la dispersión lateral y vertical,  $z_r$  (m) y  $z_i$  (m) son la altura de los receptores sobre el nivel del suelo y la altura de mezcla, respectivamente. Además,  $h_e$  es la altura central de la pluma (m).

SCREEN3 se ejecuta de forma interactiva en un computador personal, lo que significa que el programa le hace una serie de preguntas al usuario para obtener los datos de entrada necesarios y determinar qué opciones ejercer. SCREEN3 puede realizar todos los cálculos a corto plazo de una sola fuente, incluida la estimación de las concentraciones máximas a nivel del suelo y la distancia de la concentración máxima, incorpora efectos de flujo descendente causado por edificaciones en zonas de pluma cercana y lejana, estima concentraciones en zona de recirculación por cavitación, estima concentraciones causadas por cambios de inversión térmica y fumigación de briza marina, y determina el ascenso de pluma para liberaciones o descargas a la atmósfera.

El modelo puede incorporar los efectos del terreno elevado simple en concentraciones máximas y puede estimar concentraciones promedio de 24 horas debido a la impactación de la pluma en terrenos complejos utilizando el procedimiento de detección de 24 horas del modelo VALLEY. Las fuentes de área simple se pueden modelar con SCREEN3 utilizando un enfoque de integración numérica. El modelo SCREEN3 también se puede usar para modelar los efectos de fuentes de volumen simples utilizando un procedimiento de fuente de punto virtual. Los algoritmos de fuente de área y volumen se describen en el Volumen II

de la guía del usuario del modelo ISC (EPA, 1995b). El modelo SCREEN3 también puede calcular la concentración máxima en cualquier número de distancias especificadas por el usuario en terreno plano o elevado, incluidas las distancias de hasta 100 km para el transporte a larga distancia.

Los resultados arrojados por el modelo deben ser ajustados para estimar la concentración de contaminantes en diferentes periodos de tiempo (Tabla 2).

Tabla 2. Factores para estimar la concentración para diferentes periodos de tiempo

Tiempo promedio	Factor multiplicador
3 horas	0.9
8 horas	0.7
24 horas	0.4
anual	0.1

*Fuente: (EPA, 1992)*

## 2.3 Metodología para determinación del Área de Influencia

A continuación, se describe la metodología general para determinación del área de influencia para proyectos de perforación exploratoria de proyectos licenciados en el contexto de Colombia.

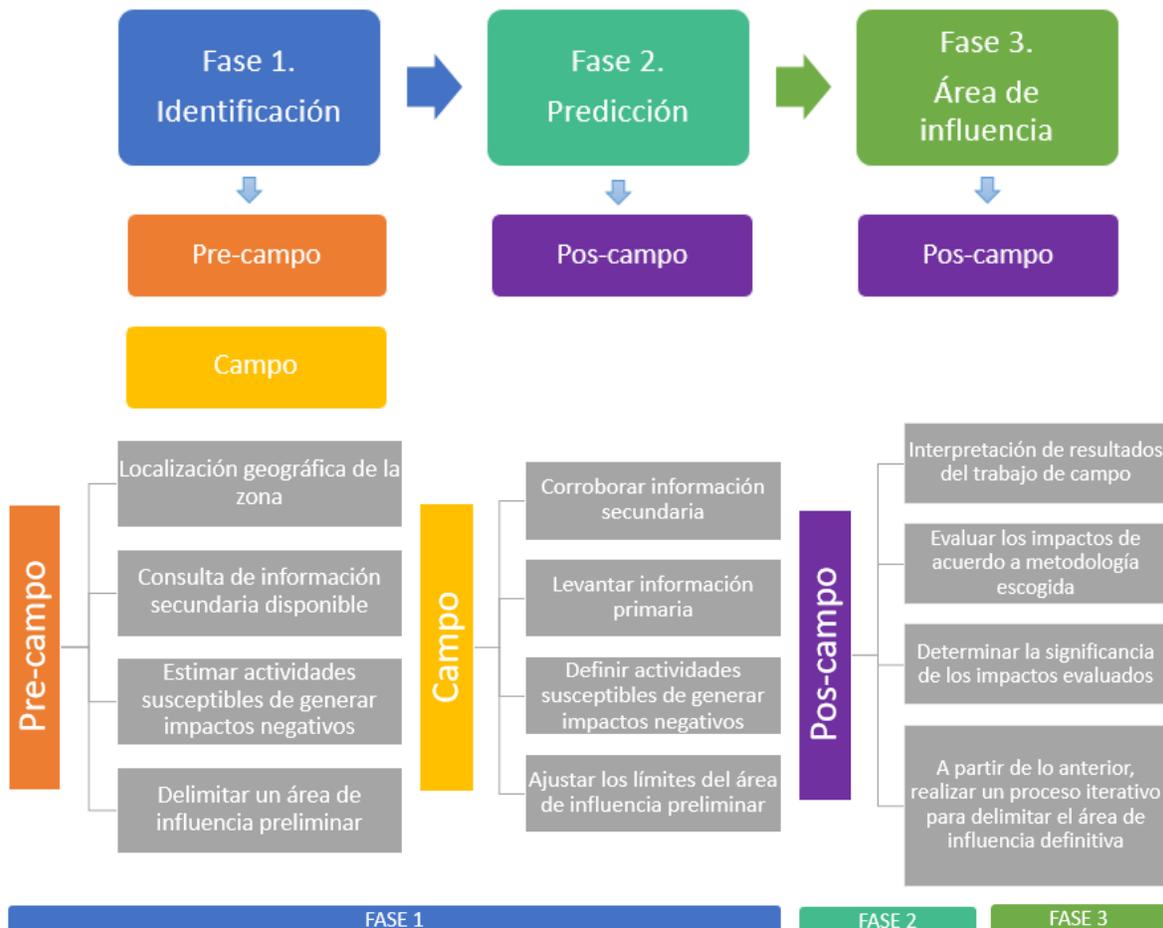


Figura 2. Metodología para determinación del área de influencia. Fuente: Elaboración propia

### 2.3.1 Caracterización de fuentes de emisión

#### Fuentes Área

Modelos de dispersión refinados ofrecen tres opciones para recrear el comportamiento de una fuente área. En modelos refinados, el AREA se utiliza para secciones rectangulares y cuadradas, AREAPOLY para secciones que se puede representar como polígonos irregulares y por último AREACIRC para secciones que se aproximan a un círculo. Sin embargo, AREA es el más general y del que derivan las otras opciones.

Para el modelo SCREEN3 los datos de entrada para caracterizar y simular la dispersión de áreas fuentes son los siguientes:

Tasa de emisión – en gramos por segundo,  $g/s/m^2$ .

Altura de liberación o descarga – altura por encima del nivel del suelo en metros, m.

Longitud del lado x – longitud en la dirección Este – Oeste en metros, m.

Longitud del lado y – longitud en la dirección Norte – Sur en metros, m.

Altura del receptor sobre el suelo en metros, m.

Opción urbana/rural (U = urbana, R = rural)

Opción de búsqueda de dirección del viento (si no, especificar ángulo deseado)

Tasa de emisión. En este tipo de fuentes, la tasa de emisión se debe reportar por unidad de área. Por lo tanto, para estimar la emisión se debe determinar el flujo másico ( $g/s$ ) y dividirla sobre el área de la fuente ( $m^2$ ).

Cuando utilizar fuentes AREA

Esta es una pregunta que se responde cuando la realidad se modela representando la fuente AREA, adoptando criterios aceptables. Los usos más frecuentes son: vías internas de explotaciones mineras a cielo abierto destapadas, vías pavimentadas, vías no pavimentadas, pilas de almacenamiento de material a granel a cielo abierto, emisiones fugitivas (equipos, tanques, entre otros).

- Vías o carreteables

Estas son emisiones denominadas lineales, delgadas, que tienen la longitud de la vía. Pero para modelar su comportamiento se deben dividir en unidades mínimas o segmentos de igual tamaño. Como se sabe los datos de entrada requeridos son: altura de liberación, lados x e y, ángulo, además de la dimensión vertical inicial.

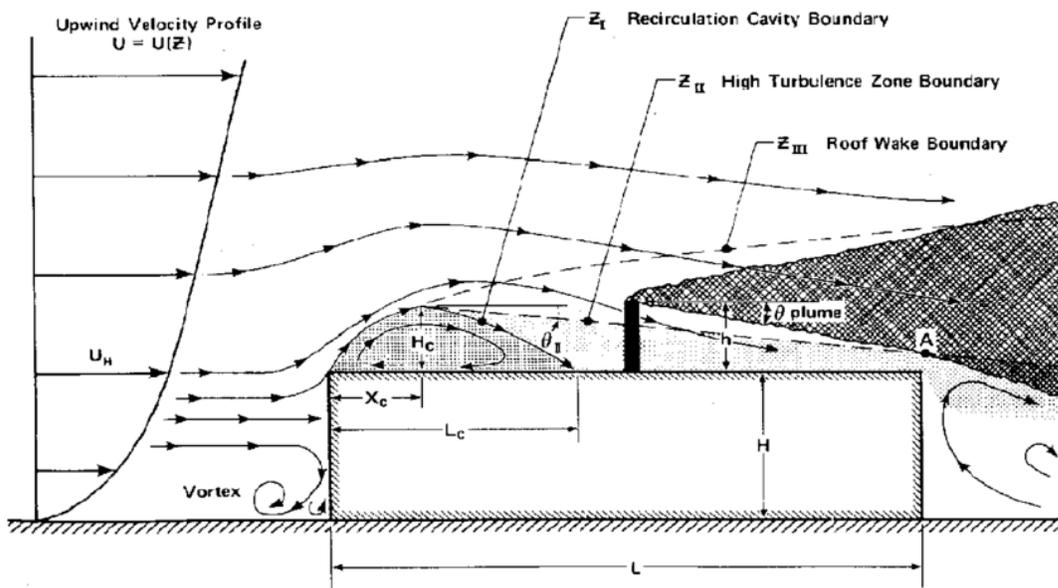


Figura 3. Altura de la capa límite de la estela ("wake boundary"). Fuente: (Wilson, 1979)

La altura de liberación se calcula tomando la mitad de la "altura de la pluma". Para el caso de una volqueta de transporte de materiales, la "altura de la pluma" es la altura promedio de la volqueta y una constante (con valor 1.7) que se aproxima a la altura de la capa límite de la estela que deja la volqueta en su movimiento (Figura 3).

Por ejemplo, si la altura de la volqueta es 2 m, la altura de la pluma se obtiene es,  $1.7 * 2 = 3.4$  m. Así las cosas, la "altura de liberación" es,  $0.5 * 3.5 = 1.75$  m.

La "dimensión vertical inicial", que emplea "altura de liberación" es dividida por una constante para hallar su valor final. Entonces, para el ejemplo, "dimensión vertical inicial" es,  $3.4 - 2.15 = 1.58$  m.

El ángulo de la fuente AREA es la que se obtiene en dirección de las manecillas del reloj con respecto al norte verdadero.

Las dimensiones x e y de la vía corresponde a la longitud y ancho del segmento de vía por el cual transitan los vehículos. Si la vía es de doble sentido, el ancho debe ser la distancia de los dos carriles. Hay que tener dos consideraciones adicionales, la primera es, cual es la máxima distancia permitida para la longitud y la segunda es, cual es la distancia del ancho del carril.

Longitud – esta es la longitud del segmento de vía, se permite una relación 100:1 con respecto al ancho del carril.

Ancho - para un carril, es el ancho del vehículo más seis metros asociados a la zona de protección. Para doble carril, es el ancho de los dos carriles más seis metros de protección.

Tener la precaución de cubrir bien los segmentos de vía, evitar dejar zonas con vacíos, es decir, no cubiertos o, por el contrario, secciones excesivas a las reales.

- Pilas o almacenamiento a granel

Las zonas de almacenamiento no siempre son uniformes, pueden variar en forma y tamaño, así es que hay que ser cuidadoso en su representación. De nuevo los datos de entrada son: tasa de emisión, altura de liberación, longitud de los lados x e y, ángulo y dimensión vertical inicial.

La altura de liberación de una pila de almacenamiento corresponde a la altura de la pila desde el nivel del suelo, pero esta altura varía durante el año, inclusive en un mismo día. Así es que se debe utilizar un valor promedio. La dimensión vertical inicial, se utiliza para dimensionar el crecimiento inicial de la pluma después de la generación de la emisión. Por cuanto hay una cantidad limitada de crecimiento de la pluma de una pila de almacenamiento, la dimensión vertical inicial debería ser cero en el archivo de entrada.

El ángulo de la fuente AREA es la que se obtiene en dirección de las manecillas del reloj con respecto al norte verdadero.

La determinación de la longitud de los lados x e y es sencillo si el almacenamiento se realiza de forma rectangular, situación que no siempre ocurre en la realidad. Por lo tanto, cuando la forma es parecida a la de un polígono irregular o circular, esta se representa como una sección cuadrada que cubre totalmente la pila de almacenamiento. Entonces, el área se estima sumando las áreas de la figura irregular en metros cuadrados, posteriormente a este valor se extrae la raíz cuadrada, el valor obtenido corresponde a las longitudes x e y.

Como la emisión que se introduce al modelo requiere que las unidades sean  $g/s/m^2$  para todas las fuentes AREA, la emisión ( $g/s$ ) se divide en el área de la pila de almacenamiento para obtener las unidades requeridas,  $g/s/m^2$ .

Pero aún hay más, el almacenamiento de material granular posee cuatro componentes adicionales que afectan la emisión, estos son: carga de material a pilas de almacenamiento (con cargadores frontales), remoción de material a pilas de almacenamiento (con cargadores frontales) actividad vehicular en el perímetro de la pila y erosión del viento.

- Carga de material

Este componente, corresponde a la cantidad de partículas que se emiten como resultado de la carga de material a la pila de almacenamiento. Si la pila de almacenamiento es alimentada con un cargador frontal, la porción que se carga se ha de considerar una fuente AREA, por lo tanto, así se debe modelar. Sin embargo, hay ocasiones que se utilizan cintas o bandas transportadoras que descargan directamente a las pilas de almacenamiento, en este caso la cinta se ha de modelar como fuente VOLUMEN.

- Descarga de material

Contrario al anterior, este componente representa la emisión de partículas originada por la remoción de material de la pila de almacenamiento. Si la pila de almacenamiento es removida con un cargador frontal, la porción que se remueve se ha de considerar una fuente

AREA, por lo tanto, así se debe modelar. Así mismo, si el material es removido por una cinta transportadora, la cinta se ha de modelar como fuente VOLUMEN.

- Actividad de vehículos

Esta emisión corresponde a las partículas que se liberan a la atmosfera por el movimiento de vehículos empleado para realizar mantenimiento a la pila de almacenamiento, como el cargador frontal. Aunque estas zonas pueden ser tratadas como vías industriales, por cuanto por allí también circulan volquetas y camionetas de supervisión.

- Erosión del viento

Este componente es una mención exclusiva a la cantidad de partículas que son liberadas a la atmosfera exclusivamente por acción del viento sobre la pila. Estas emisiones se han de modelar como fuentes AREA.

### **Fuentes Volumen**

El algoritmo para modelar fuentes VOLUMEN se utiliza para modelar a liberación de emisiones fugitivas, diferentes a las que se realizan a través de un ducto o chimenea. Ejemplo de fuentes VOLUMEN están: edificaciones con ductos de venteo, bandas o cintas transportadoras, sitios de descarga de cargadores, molinos o trituradoras (mandíbula, martillos, etc.), separadores de material a granel.

En el caso del modelo SCREEN3 los datos de entrada para modelar fuentes VOLUMEN son:

Tasa de emisión másica (g/s),

Altura de descarga o liberación – altura por encima del nivel del suelo en metros, m.

Dimensión lateral inicial del volumen en metros, m.

Dimensión vertical inicial del volumen en metros, m.

Altura del receptor sobre el suelo en metros, m.

Opción urbana/rural (U = urbana, R = rural)

- Altura de liberación o descarga

Para una cinta transportadora, es la mitad de la altura de caída libre del material, más la altura de la pila por encima del nivel del suelo.

Para tolvas de almacenamiento de material por debajo del nivel del suelo (sótano), donde descarga un vehículo con volco hidráulico, la altura de liberación es la altura de caída libre del material.

En silos de almacenamiento de material a granel (material pétreo y alimentos granulados), es la mitad de la altura de venteo más la altura del silo por encima del nivel del suelo.

Depósitos donde se almacena material a granel que tienen un techo, tres paredes y una entrada que permanece abierta, la dispersión se realiza a través de esta última y la altura de liberación es la mitad de la altura de la entrada.

- Dimensión o longitud lateral inicial

También conocido como sigma-y ( $\sigma$ -y) adopta el ancho físico de la liberación y se ajusta dividiendo en una constante. En una cinta transportadora, una volqueta, el venteo de un silo, y la entrada a un depósito la constante es 4.3.

- Dimensión o longitud vertical inicial

Conocido como sigma-z ( $\sigma$ -z) se calcula de acuerdo a la posición de la emisión con respecto a sus alrededores. Si la emisión se realiza al nivel del suelo, como es el caso de las volquetas, la longitud vertical (distancia desde la volqueta a la reja) se debe dividir en una constante que es 2.15. Este mismo procedimiento debe aplicarse a depósitos o edificaciones, pero en este caso la longitud inicial ya no es la mitad de la entrada, sino la altura de la edificación dividida en 2.15. Si la liberación de la emisión ocurre es elevada y no está adyacente a edificaciones, como bandas transportadoras, molinos o trituradoras (mandíbula, martillos, etc.), separadores de material a granel la longitud vertical se divide en la constante 4.3 para obtener longitud vertical inicial.

### **2.3.2 Meteorología**

Modelos refinados como AERMOD y CALPUFF requieren información meteorológica detallada que usualmente el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, no registra. De otra parte, modelos unidimensionales como SCREEN3 utiliza solamente la velocidad media, y se puede asumir que es la velocidad promedio en una hora.

Las opciones meteorológicas de SCREEN3 son las siguientes (Tabla 3):

**Estabilidad de clases:** esta opción considera el rango completo de velocidades para la estabilidad de clases que seleccione el usuario, es decir, una fila completa de la Tabla 3.

**Una estabilidad de clases y una velocidad del viento:** esta opción en cambio permite seleccionar una única combinación de estabilidad de clases y una sola velocidad del viento. En este caso debe seleccionar la estabilidad de clases y únicamente un valor de velocidad de la Tabla 3.

Por cuanto el modelo generalmente se utiliza de manera conservadora, lo correcto es utilizar la meteorología completa para identificar libremente el peor caso o escenario de mayor concentración de contaminantes. Por lo tanto, no es necesario obtener registros meteorológicos para el lugar.

Tabla 3. Meteorología incorporada por el modelo SCREEN3

Pasquill-Gifford Estabilidad clases	10 - Metros Velocidad del Viento (m/s)												
	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	8.00	10.00	15.00	20.00
A	✓	✓	✓	✓	✓								
B	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
D	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
E	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
F	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓						

Fuente: (EPA, 1992)

### 2.3.3 Receptores y elevación del terreno

Modelos refinados requieren información del terreno para encontrar las coordenadas y altitud sobre el nivel del mar de los receptores donde se desean registros del modelo de dispersión. Esta información se encuentra en archivos en formato DEM generados por el instituto geológico de los Estados Unidos, USGS. Aunque el modelo unidimensional SCREEN3 puede realizar análisis para terrenos: plano, simple y complejo, esta información es suministrada directamente por el usuario en tiempo de ejecución.

### 2.3.4 Concentración de fondo

La concentración de fondo es un concepto que está asociada a la calidad del aire de una región y por lo tanto debe incluirse en estudios de evaluación ambiental que tienen el propósito de determinar el cumplimiento normativo. La concentración de fondo está compuesta de tres compartimentos: la contaminación causada por “fuentes naturales” (que no se puede modelar explícitamente), “fuentes cercanas identificadas” que son externas al proyecto de construcción y otras “fuentes de emisión no identificadas” que no se incluyen en el inventario de emisiones.

Los estudios de calidad del aire que se realizan para construir la línea de base se deben utilizar para determinar el impacto causado por “fuentes naturales” y “fuentes de emisión no identificadas” que no son modeladas explícitamente por el modelo. En condiciones ideales, la autoridad ambiental que posee sistemas de vigilancia de calidad del aire, en adelante SVCA, suministra al público registros de contaminantes de varios años para contaminantes criterio. De esta manera, las “fuentes cercanas identificadas” deben ser incluidas en la evaluación de impacto y cubrir así la concentración de fondo que no es observada por una estación de calidad del aire de la autoridad ambiental.

### 3 Descripción de los resultados del análisis del estudio de caso

Con el fin de realizar el estudio de caso se hizo una revisión de Diagnóstico Ambiental de Alternativas, DAA, Estudios de Impacto Ambiental, EIA y Planes de Manejo Ambiental, PMA presentados para 10 proyectos de perforación exploratoria (PPE) licenciados por la ANLA, elegidos al azar. Estos documentos son de dominio público, fueron solicitados para revisión en el centro de documentación de la ANLA.

Por cuanto la documentación es extensa y el protocolo de entrega de documentos es igualmente extenso, se solicitaron 10 paquetes de documentos pertenecientes a PPE, encontrando que algunos de ellos no contaban con la documentación completa o en otros casos no correspondían a PPE, por esto, se hizo un filtro y se seleccionaron 6, de los cuales únicamente 3 incluyeron en su evaluación un monitoreo de contaminantes, su cuantificación y caracterización, estos 3 proyectos hacen parte integral del estudio de caso cuyos resultados se presentan a continuación.

Los Proyectos de Perforación Exploratoria PPE que son objeto de análisis (Tabla 4), corresponden al Área de Perforación Exploratoria APE Canelo (Estudio de impacto ambiental. Área de interés exploratorio Canelo, 2010) en el departamento Putumayo, Área de Perforación Exploratoria APE Santana en del departamento Magdalena (Estudio de impacto ambiental para el área de interés de perforación exploratoria Santa Ana, 2010) y Área de Perforación Exploratoria APE Tamarín en el departamento Caquetá (Estudio de impacto ambiental para la perforación exploratoria del bloque Tamarín, 2010).

Tabla 4. Proyectos de perforación exploratoria

Nombre	Objeto	Contratista	Municipio	Departamento	Año
<b>Canelo</b>	Perforación exploratoria de los pozos Canelo	Petronova Colombia	Puerto Guzmán y Piamonte	Putumayo	2010
<b>Santana</b>	Área de interés perforación Santa Ana	Petrolífera Petroleum (Colombia) Limited	Ariguani, Santa Ana y Pijiño del Carmen	Magdalena	2010
<b>Tamarín</b>	Bloque de perforación exploratoria Tamarín	Rancho Hermoso S.A.	San Vicente del Caguán y Puerto Rico	Caquetá	2010

Fuente. Elaboración propia

En la siguiente tabla se muestran las fuentes de emisión identificadas para todos los proyectos y sus métodos de estimación

Tabla 5. Métodos de estimación de emisiones

Fuente	Tipo fuente	Emisiones	Método estimación
<b>Construcción vía nueva</b>	Área	PM10 total, PM10 Emisiones fugitivas, PM2.5 Total y PM2.5 Emisiones fugitivas	RoadConstructionEmissionsModelVer9
	Volumen	CO, CO2, CO2e, CH4, NOx, SOx, N2O, PM10 Tubo escape y PM2.5 Tubo escape	
<b>Construcción locación</b>	Área	CO2, CO2e, CO, CH4, NOx, SOx, N2O, PM10 total, PM10 Emisiones fugitivas, PM2.5 Total y PM2.5 Emisiones fugitivas	RoadConstructionEmissionsModelVer9
	Volumen	PM10 Tubo de escape y PM2.5 Tubo de escape	
<b>Traslado del crudo desde el pozo hasta el Centro de Acopio en camioneta</b>	Área	PM2.5, PM10 y PM30	EPA: AP-42, Section 13.2.2 Unpaved Roads - Updated November 2006
	Volumen	CO, Nox y SO2	Factores Emisión Bogotá
<b>Traslado de crudo desde el Centro de Acopio hasta la locación en Carrotanque</b>	Área	PM2.5, PM10 y PM30	EPA: AP-42, Section 13.2.2 Unpaved Roads - Updated November 2006
	Volumen	CO, Nox y SO2	Factores Emisión Bogotá
<b>Funcionamiento de Generadores de energía eléctrica para el taladro de perforación</b>	Puntual	MP, MP10, NOx y SOx	EPA: AP-42, Vol. I, 3.4: Large Stationary Diesel And All Stationary Dual-fuel Engines.
<b>Funcionamiento de Generador de energía eléctrica para la bomba en la plataforma</b>	Puntual	NOx, CO, SOx y MP10	EPA: AP-42, Vol. I, 3.3: Gasoline And Diesel Industrial Engines
<b>Funcionamiento de Generadores de energía eléctrica para el campamento</b>	Puntual	NOx, CO, SOx y MP10	EPA: AP-42, Vol. I, 3.3: Gasoline And Diesel Industrial Engines

Fuente: *Elaboración propia*

Para estimar las emisiones se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

En los casos en los que no se encontró información sobre localización, longitud y tipo de vía a construir o adecuar, se asumió la construcción de una vía nueva Tipo 5 de una longitud aproximada de 5 km a partir de una vía existente. La ubicación geográfica de la vía se hizo de manera aproximada en ArcGIS, teniendo en cuenta la ubicación del proyecto y las vías existentes. Las demás especificaciones de la construcción de la vía se tomaron de los respectivos EIA.

Para cada proyecto se tuvo en cuenta la construcción de una sola vía nueva.

Se asumió que todo el material transportado fue trasladado en volquetas de 14 m<sup>3</sup> de capacidad.

Cuando en los EIA no se especifican volúmenes de excavación aproximados para la construcción de locaciones se asumió: profundidad de descapote 0.25 m, profundidad de excavación para base y sub base 0.45 m, con el fin de estimar los volúmenes de material a transportar en volquetas.

Para el caso de emisiones fugitivas se asumieron medidas de mitigación correspondientes al 50% m, que consiste en el control de emisiones fugitivas mediante la aspersion de agua con carro tanques.

Para el caso de los generadores de energía eléctrica, en ninguno de los EIA se detalla ni la potencia de los generadores ni su consumo promedio de combustible, por este motivo se asumió que para el funcionamiento del taladro de perforación se usaron 4 generadores CAT3512/980kw (Caterpillar, 2009) con un consumo de combustible de 93 galones por hora, a una temperatura de 16°C con un LHV (Lower heating value) de 18,390 Btu / lb y densidad de 7.001lb / U.S. gal. Cuando fue necesario, se supuso que el poder calorífico promedio del Diesel era 19,300 Btu/lb con una densidad de 7.1 lb/galón. Para el funcionamiento del campamento se asumió que se usaron 4 generadores PLY350GENERAC/350kw con un consumo de combustible de 23 galones por hora, poder calorífico del Diesel de 19,300 Btu/lb y densidad promedio del Diesel de 7.1lb/gal. Para el funcionamiento de la bomba ubicada en la plataforma de perforación se asumió que se usó 1 generador PLY350GENERAC/350kw con las características descritas anteriormente.

En Tabla 6 se muestra un ejemplo de los datos de entrada ingresados en el modelo RoadConstructionEmissionsModelVer9. (Distrito Metropolitano de Gestión de la Calidad del Aire de Sacramento - Sac Metro, 2018)

Tabla 6. Datos de entrada al modelo RoadConstructionEmissionsModelVer9

Datos de entrada al modelo	
Nombre del proyecto	APE SANTA ANA VÍA
Año inicio de construcción	2014
Tipo de proyecto	1
Tiempo de construcción (meses)	0.36
Días trabajados por mes	22.00
Tipo predominante de suelo	1
Longitud proyecto (millas)	3.04
Área total proyecto (acres)	8.48
Área máxima intervenida/día (acres)	8.48
Uso de camiones de agua	1
Material tipo	Suelo

Fuente: el proyecto

La modelación de dispersión de contaminantes se hizo con el software SCREEN3 (EPA, 2013).

### 3.1 Caso proyecto APE Canelo

El área de interés exploratorio Canelo ocupa un área de 22,13 km<sup>2</sup>, y se localiza en los municipios de Piamonte y Puerto Guzmán, de los departamentos de Cauca y Putumayo respectivamente. A continuación, se muestra la figura de ubicación del APE Canelo:

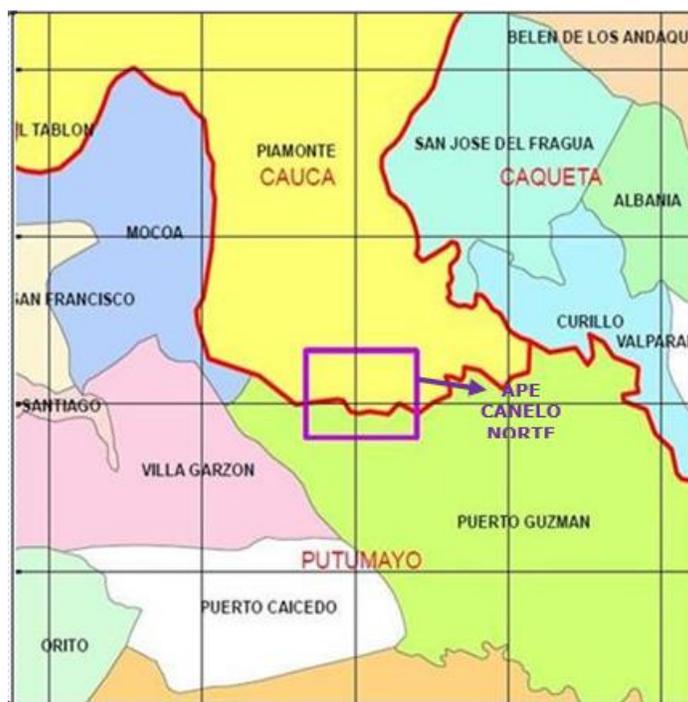


Figura 4. Ubicación geográfica APE Canelo. Fuente: Expediente público consultado en la ANLA (Estudio de impacto ambiental. Área de interés exploratorio Canelo, 2010)

Las coordenadas donde se encuentra el proyecto APE Canelo se muestran en la Tabla 7:

Tabla 7. Coordenadas del proyecto APE Canelo

PUNTO	COORDENADAS ORIGEN BOGOTÁ DATUM MAGNAS SIRGAS	
	ESTE	NORTE
1	750.599,4	602.428,5
2	754.010,1	602.425,5
3	754.797,9	601.078,0
4	756.010,2	601.076,9
5	756.489,8	602.077,1
6	756.490,1	602.423,3
7	756.748,6	602.423,0
8	756.748,7	597.657,1
9	754.587,3	597.658,9
10	754.588,3	598.807,7
11	750.596,2	598.811,2

Fuente: Expediente público consultado en la ANLA (Estudio de impacto ambiental. Área de interés exploratorio Canelo, 2010)

El objeto de este proyecto es: actividades de exploración dentro del Bloque PUT-2 iniciando con el área de interés exploratorio Canelo Norte y posteriormente Canelo Sur, el alcance de las actividades del proyecto incluye: perforación exploratoria de hasta 4 plataformas multi pozos en donde en cada una se realizará la perforación de hasta 3 pozos, para un total de 12 pozos, de acuerdo con los lineamientos y estrategias planificadas en el respectivo Estudio de Impacto ambiental con el fin de reducir los impactos identificados en los componentes físicos, bióticos y sociales.

PETRONOVA COLOMBIA, es la empresa contratista del proyecto, quienes contrataron a C&MA en el año 2010 para realizar el EIA con el cual solicitaron la licencia ambiental, este EIA fue presentado ante la autoridad competente, fue aprobado y la licencia ambiental les fue otorgada.

En el EIA se definió el Área de Influencia Directa e Indirecta del proyecto sin referirse a ninguna metodología en específico. La caracterización atmosférica se realizó para tres temas: clima, calidad del aire y presión sonora.

El análisis de la climatología se fundamentó en la recopilación y análisis de información secundaria, información disponible en el IDEAM hasta el año 2010.

Para conocer el estado de la calidad del aire en el área de estudio, se llevó a cabo un monitoreo durante 10 días consecutivos en cinco estaciones ubicadas en el área de interés.

La metodología utilizada para realizar la evaluación ambiental fue basada en los términos de referencia HI-TER-1-02 que corresponden al Estudio de Impacto Ambiental para proyectos de perforación exploratoria de hidrocarburos, expedidos por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) en el año 2010, así como la metodología general para la presentación de estudios ambientales, que fue creada por la misma entidad en dicho año.

### 3.1.1 Calidad del aire APE Canelo

El proyecto APE CANELO se desarrolla en el departamento Putumayo (municipio Puerto Gaitán), la construcción de la línea base comprende el monitoreo en tres sitios de interés (Tabla 8), el primero se ubica cerca de la construcción del pozo Canelo Sur 2, la segunda estación en una zona poblada aunque cerca del pozo Canelo Sur 1 y Canelo Sur 2, y el tercer sitio en zona del Cabildo Alpamanga, próximo al pozo Canelo Sur 1. La captura de muestra se realiza por un periodo de 18 días consecutivos para determinar la presencia de los siguientes contaminantes, PM10, SO2, NOX/NO2, COV y CO.

Tabla 8. Localización de estaciones de monitoreo de calidad del aire proyecto APE Canelo (24/12/2012 - 10/01/2013)

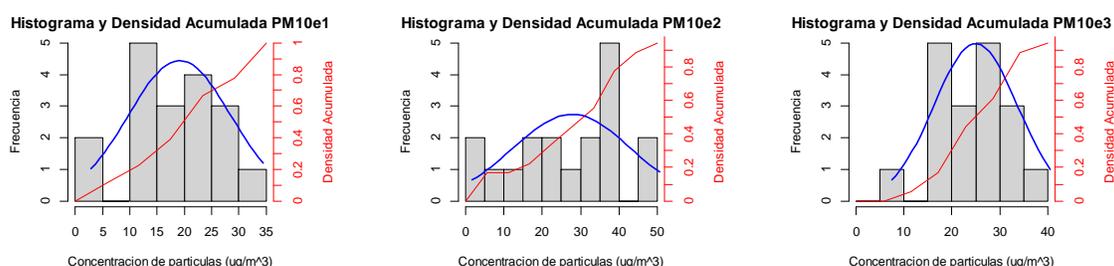
Especificaciones de la estación	Estación 1. Chunquia (1)	Estación 2. Puerto Rosario (2)	Estación 3. Alpamanga (3)
Departamento	Putumayo	Putumayo	Putumayo
Municipio	Puerto Guzmán	Puerto Guzmán	Puerto Guzmán
Corregimiento / Vereda	No registra	No registra	No registra
Coordenada X	755446	756299	754932
Coordenada Y	600094	598880	596040
Sistema de Referencia	Bogotá	Bogotá	Bogotá
Días Programados	18	18	18
Presión barométrica (mm Hg)	736,34	732,74	745,67
Temperatura (K)	303,2	302	299,2

*Fuente: Expediente público consultado en la ANLA (Estudio de impacto ambiental. Área de interés exploratorio Canelo, 2010). Observaciones: (1) Estación ubicada en predios de la finca Chunquia, este sitio está cerca de la futura locación del pozo Canelo Sur 2. (2) Estación localizada en el centro poblado más cercano a la zona de interés para la perforación exploratoria de los pozos Canelo Sur 1 y Canelo Sur 2. (3) Estación ubicada en predios de las comunidades indígenas del Cabildo Alpamanga, considerando la posible afectación por cercanía al pozo Canelo Sur 1.*

A continuación, se presentan resultados de los estudios de calidad del aire realizados.

La línea base del proyecto APE CANELO objeto de análisis corresponde a la determinación de Partículas PM10 por un periodo de 18 días. En la Figura 5 (d) se aprecia el comportamiento de la concentración de partículas PM10, la variabilidad de los datos de los tres sitios de elegidos por el laboratorio. Los registros oscilan entre 5 y 45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , y a pesar de la escasez de datos muestran un aparentemente comportamiento similar entre los días 4 a 9, y 13 a 18. En la Estación 1, Figura 5 (a), el histograma de frecuencias indica que hay

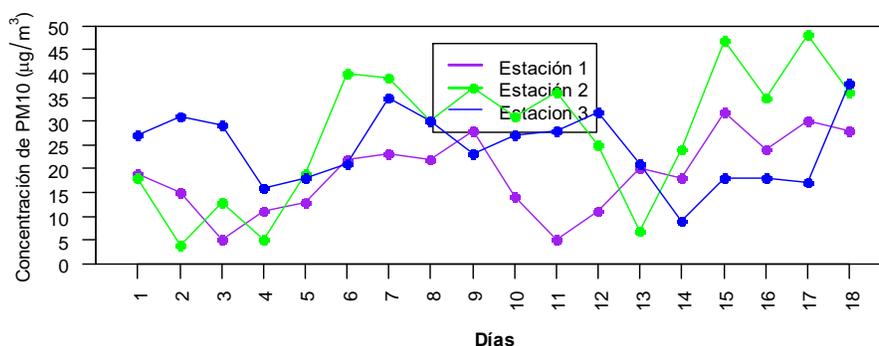
una significativa cantidad de registros en los cuales las concentraciones oscilan entre 10 y 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , de otra parte, cerca de la media y el percentil 70 hay registros que oscilan entre 15 y 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , con relación al percentil 90 este se reporta en aproximadamente 32  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En la Figura 5 (b), Estación 2, el histograma de frecuencias revela que hay una gran cantidad de registros con concentraciones que oscilan entre 35 a 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , en cuanto al percentil 90 la concentración es aproximadamente 48  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , con relación a la distribución normal esta estación muestra una campana achatada en señal de la gran dispersión de los datos. La Estación 3, Figura 5 (c), el histograma de frecuencia señala que hay una gran cantidad de registros donde las concentraciones son repetitivas en el rango 20 y 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , situación que podría ubicarla como aquella donde la dispersión de los datos es la menor entre las tres. Además, es la estación donde la curva normal es más espigada y las frecuencias se aproximan a este comportamiento.



(a)

(b)

(c)



(d)

Figura 5. Resultados de monitoreo de partículas PM10 APE Canelo, (a) Histograma de frecuencias y densidad acumulada de concentración de PM10 en la Estación 1 Estación de policía, (b) Histograma de frecuencias y densidad acumulada de concentración de PM10 en la Estación 2 Finca Sr Aldemar, (c) Histograma de frecuencias y densidad acumulada de concentración de PM10 en la Estación 3 Finca del Sr. Leonel Agredo, (d) líneas y puntos de registros de concentración de PM10 de las tres estaciones. Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, se presentan estadísticos de medidas de tendencia central (Tabla 9), medidas de posición relativa (Tabla 10), y dispersión de datos de la concentración de partículas PST y PM10 de proyectos APE Canelo (Tabla 11). Los estadísticos indican que los resultados son homogéneos, la variabilidad de los datos reducida con excepción de los obtenidos en la segunda estación.

Tabla 9. Medidas de tendencia central de la concentración de partículas PM10 de proyecto APE Canelo

Contaminantes	Proyecto	# Est.	Media	Mediana	Media Geom.	Media armónica
PM10	APE Canelo	1	18,89	19,5	NA	14.2
		2	27,44	30,5	NA	15.9
		3	24,33	25	NA	21.6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10 Medidas de posición relativa de la concentración de partículas PM10 de proyecto APE Canelo

Contaminantes	Proyecto	# Est.	1erC.	3erC	P90	P95	P99	Max
PM10	APE Canelo	1	13,25	23,75	30.2	32	32	32
		2	18,25	<b>36,75</b>	47.1	48	48	48
		3	18	29,75	35.3	38	38	38

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11 Medidas de dispersión de datos de la concentración de partículas PM10 de proyecto APE Canelo

Contaminantes	Proyecto	# Est.	Rango	Varianza	D. Estándar.	R. Inter cuantil
PM10	APE Canelo	1	27	65.28	8.07	10.5
		2	44	192.26	13.86	18.5
		3	29	58.11	7.62	11.7

Fuente: Elaboración propia

Para en análisis de impacto, se sumará a los resultados de la modelación ponderados por el tiempo, la concentración de calidad del aire que representa el percentil 75 de PM10, para el periodo de 24 horas. Para un análisis conservador se empleará el percentil 75 de la estación que revele el valor más alto de las tres estaciones de monitoreo. En el caso del proyecto APE Canelo el valor es de 36,75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , de PM10 como se aprecia en la Tabla 10.

### 3.1.2 Inventario de Emisiones APE Canelo

El proyecto APE Canelo tiene una duración aproximada de seis meses, tiempo en el cual se realizan actividades de construcción que emiten partículas PM10.

En los primeros dos meses se realizan tres actividades, 1) construcción de la vía de acceso al pozo, 2) construcción de la locación donde se ubican las instalaciones de apoyo y 3) perforación del pozo. La construcción de la vía y la locación incluyen las siguientes

actividades: excavación de tierra, extracción de material, traslado de materiales en volquetas, tránsito de maquinaria y equipo. La perforación del pozo se realiza con un taladro de perforación, que requiere de cuatro generadores de energía eléctrica.

Utilizando el modelo de estimación de emisiones Road Construction Emission Model (RCEM) (Distrito Metropolitano de Gestión de la Calidad del Aire de Sacramento - Sac Metro, 2018) se obtienen resultados de, emisión de partículas PM10 proyecto APE Canelo con medidas de mitigación (Tabla 12), emisión de partículas PM10 proyecto APE Canelo sin medidas de mitigación (Tabla 13). La emisión de partículas PM10 en fuentes fijas puntuales APE Canelo (Tabla 14) se estimó empleando factores de emisión de la EPA-USA (EPA, 1996)

En los siguientes seis meses se realizan las pruebas cortas de producción, para esto se pone en operación el campamento donde se realizan actividades administrativas mediante cuatro generadores de energía eléctrica y la bomba de extracción de crudo mediante un generador de energía eléctrica, además se realiza el traslado del crudo desde el pozo hasta un centro de acopio mediante camionetas diariamente y por último se traslada el crudo desde el centro de acopio hasta la locación mediante carrotaques una vez a la semana.

La emisión total de PM10 ponderada en el tiempo se presenta como, calendario de emisión de partículas PM10 con medidas de mitigación APE Canelo (Tabla 15) y calendario de emisión de partículas PM10 sin medidas de mitigación APE Canelo (Tabla 16).

Tabla 12. Emisión de partículas PM10 proyecto APE Canelo con medidas de mitigación

Construcción vía Fases del proyecto	Total PM10 (kg/día)	Tubo de escape PM10 (kg/día)	Emisiones fugitivas PM10 (kg/día)
Descapote/Limpieza	0.055	0.006	0.049
Nivelación/Excavación	0.080	0.030	0.049
Drenaje/Base/Sub-base	0.077	0.028	0.049
Pavimentación	0.012	0.012	0.000
Máximo (kg/día)	0.080	0.030	0.049
<b>Total (kg/día)</b>	<b>0.225</b>	<b>0.076</b>	<b>0.148</b>
Construcción Locación Fases del proyecto	Total PM10 (kg/ día)	Tubo de escape PM10 (kg/ día)	Emisiones fugitivas PM10 (kg/ día)
Descapote/Limpieza	0.265	0.039	0.227
Nivelación/Excavación	0.338	0.111	0.227
Drenaje/Base/Sub-base	0.306	0.079	0.227
Pavimentación	0.036	0.036	0.000
Máximo (kg/día)	0.338	0.111	0.227
<b>Total (kg/día)</b>	<b>0.945</b>	<b>0.265</b>	<b>0.680</b>
Tránsito camioneta	PM 10 (kg/día)	PM 2.5 (kg/día)	PM 30 (kg/día)
<b>Total</b>	0.024311	0.002418	0.068003

Tránsito carrotanque	PM 10 (kg/día)	PM 2.5 (kg/día)	PM 30 (kg/día)
Total	0.026336	0.002619	0.073670

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Emisión de partículas PM10 APE Canelo sin medidas de mitigación

Construcción vía Fases del proyecto	Total PM10 (kg/día)	Tubo de escape PM10 (kg/día)	Emisiones fugitivas (kg/día)
Descapote/Limpieza	0.230	0.006	0.224
Nivelación/Excavación	0.255	0.031	0.224
Drenaje/Base/Sub-base	0.252	0.028	0.224
Pavimentación	0.012	0.012	0.000
Máximo (kg/día)	0.255	0.031	0.224
<b>Total (kg/día)</b>	<b>0.749</b>	<b>0.077</b>	<b>0.673</b>
Construcción Locación Fases del proyecto	Total PM10 (kg/día)	Tubo de escape PM10 (kg/día)	Emisiones fugitivas PM10 (kg/día)
Descapote/Limpieza	0.49	0.04	0.45
Nivelación/Excavación	0.56	0.11	0.45
Drenaje/Base/Sub-base	0.53	0.08	0.45
Pavimentación	0.04	0.04	0.00
Máximo (kg/día)	0.56	0.11	0.45
<b>Total (kg/día)</b>	<b>1.61</b>	<b>0.27</b>	<b>1.35</b>
Tránsito camioneta	PM 10 (kg/día)	PM 2.5 (kg/día)	PM 30 (kg/día)
Total	0.048622	0.004862	0.136041
Tránsito carrotanque	PM 10 (kg/día)	PM 2.5 (kg/día)	PM 30 (kg/día)
Total	0.052674	0.005267	0.147378

Fuente: Elaboración propia

El estudio se realizó para dos escenarios posibles, el primero teniendo en cuentas medidas de mitigación (CMM) de emisiones de PM10 en la construcción de la vía, la construcción de la locación, tránsito de la camioneta y tránsito del carrotanque (Tabla 15). El otro escenario (Tabla 16), con las mismas fuentes de emisión, pero sin ningún tipo de medidas de mitigación (SMM).

Las medidas de mitigación redujeron en un 2.41% las emisiones de PM10, este valor no es significativo ya que las mayores fuentes de emisión son los generadores de energía que operan el taladro de perforación.

De acuerdo al estudio realizado, las emisiones de PM10 son mayores durante los primeros dos meses, la mayor fuente de emisión durante esta etapa corresponde a la operación del taladro de perforación. Las emisiones de PM10 son significativamente menores durante los siguientes seis meses, para esta fase la mayor fuente de emisiones es la operación del campamento.

Tabla 14. Emisión de partículas PM10 en fuentes fijas puntuales APE Canelo

Generadores Taladro	PM 10 (kg/día)
Total 1 generador	7.95
Total 4 generadores	31.80
Generadores Campamento	PM 10 (kg/ día)
Total 1 generador	3.43
Total 4 generadores	13.72
Generador Plataforma (Bomba)	PM 10 (kg/día)
Total 1 generador	3.43

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Calendario de emisión de partículas PM10 con medidas de mitigación APE Canelo

Fuente	Mes	Emisiones PM10 (kg/día) con MM							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Construcción vía		0.23		-	-	-	-	-	-
Construcción Locación		0.47	0.47	-	-	-	-	-	-
Operación taladro perforación			31.80	-	-	-	-	-	-
Operación campamento		-	-	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29
Operación bomba de extracción		-	-	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
Tránsito camioneta		-	-	0.004052	0.004052	0.004052	0.004052	0.004052	0.004052
Tránsito carrotanque		-	-	0.004389	0.004389	0.004389	0.004389	0.004389	0.004389

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Calendario de emisión de partículas PM10 sin medidas de mitigación APE Canelo

Fuente	Mes	Emisiones PM10 (kg/día) sin MM							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Construcción vía		0.75	-	-	-	-	-	-	-
Construcción Locación		0.81	0.81	-	-	-	-	-	-
Operación taladro perforación			31.80	-	-	-	-	-	-
Operación campamento		-	-	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29
Operación bomba de extracción		-	-	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
Tránsito camioneta		-	-	0.008104	0.008104	0.008104	0.008104	0.008104	0.008104
Tránsito carrotanque		-	-	0.008779	0.008779	0.008779	0.008779	0.008779	0.008779

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.3 Modelo de dispersión APE Canelo

Usando el modelo SCREEN3 se obtuvieron los resultados de la modelación, el modelo arroja los resultados en un archivo de información de salida (EXAMPLE.OUT) que puede ser visualizado con el block de notas de Microsoft Windows. Los archivos de salida se encuentran en los anexos de este documento, así como las gráficas de ubicación de los receptores.

Los datos de los resultados fueron transformados a un periodo de 24 horas usando el factor multiplicador recomendando por la EPA y a estos se les sumó la concentración de fondo. Los datos resultantes fueron transformados a isopletas de concentración mediante el software ArcGIS, limitando el área en la que los impactos sobrepasan las concentraciones permitidas por la norma.

Los resultados de la dispersión de partículas PM10 se elaboran para cada una de las fases del proyecto. Para la fase de construcción estas son, dispersión PM 10 construcción vía APE Canelo sin MM (Figura 6), dispersión PM 10 construcción vía APE Canelo con MM (Figura 8), dispersión PM10 construcción locación APE Canelo sin MM (Figura 7), dispersión PM10 construcción locación APE Canelo con MM (Figura 9), dispersión PM10 operación taladro APE Canelo (Figura 15).

Para la fase de operación están los resultados, dispersión PM10 Tránsito camioneta APE Canelo sin MM (Figura 10), dispersión PM10 Tránsito camioneta APE Canelo con MM (Figura 12), dispersión PM10 Tránsito carrotanque APE Canelo sin MM (Figura 11), dispersión PM10 Tránsito carrotanque APE Canelo con MM (Figura 13), dispersión PM10 operación bomba en plataforma APE Canelo (Figura 14), dispersión PM10 operación campamento APE Canelo (Figura 16).

A continuación, se muestran las isopletas de concentración que representan la dispersión de contaminantes por cada fase del proyecto:

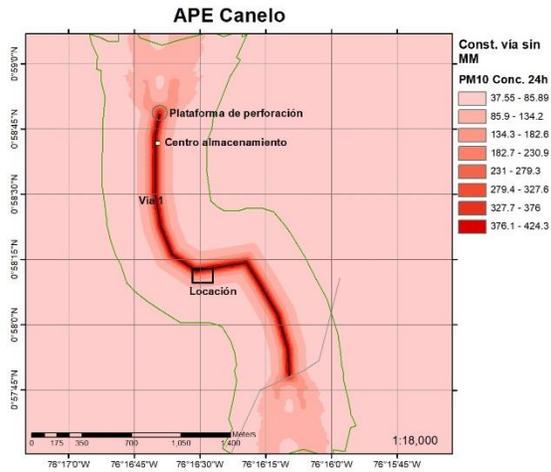


Figura 6. Dispersión PM10 construcción vía APE Canelo sin MM. Fuente: Elaboración propia

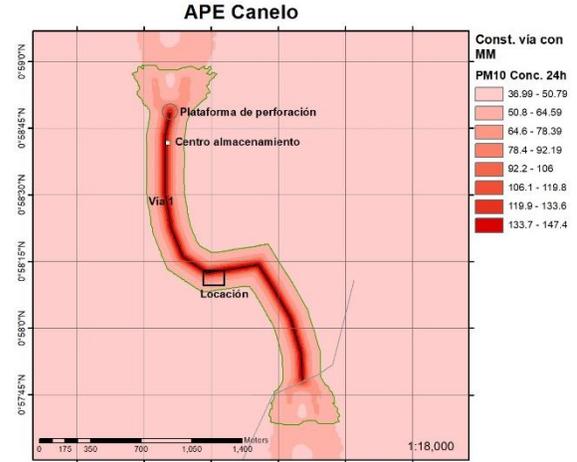


Figura 8. Dispersión PM 10 construcción vía APE Canelo con MM. Fuente: Elaboración propia

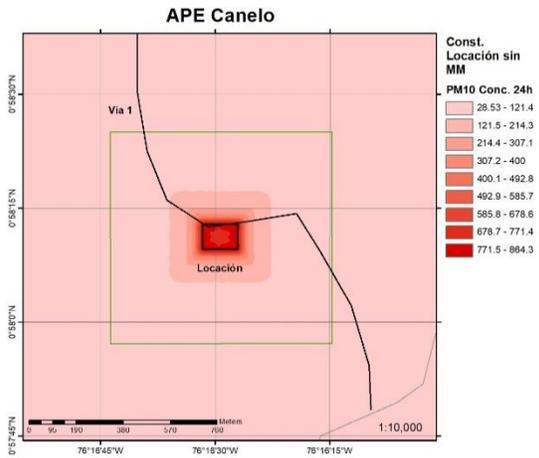


Figura 7. Dispersión PM10 construcción locación APE Canelo sin MM. Fuente: Elaboración propia

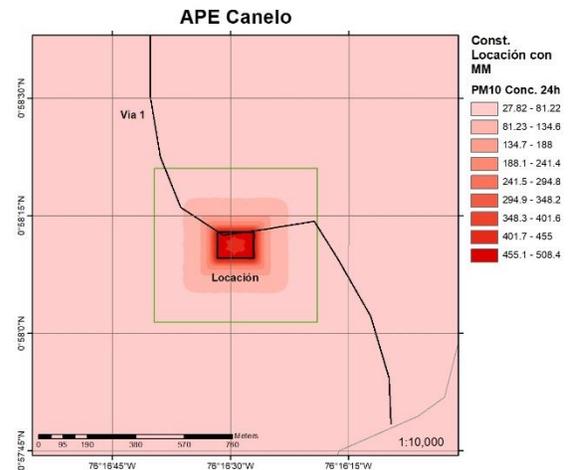


Figura 9. Dispersión PM10 construcción locación APE Canelo con MM. Fuente: Elaboración propia

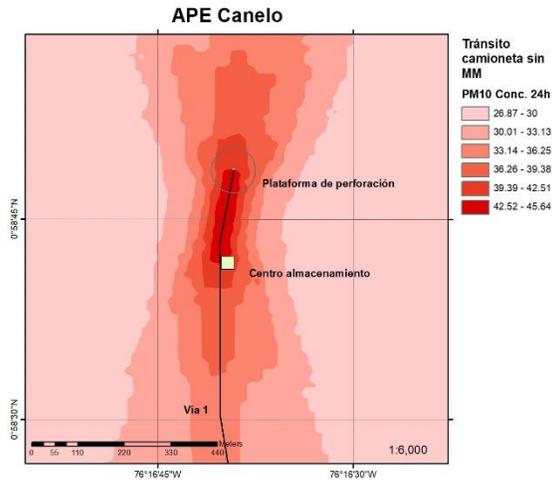


Figura 10. Dispersión PM10 Tránsito camioneta APE Canelo sin MM. Fuente: Elaboración propia

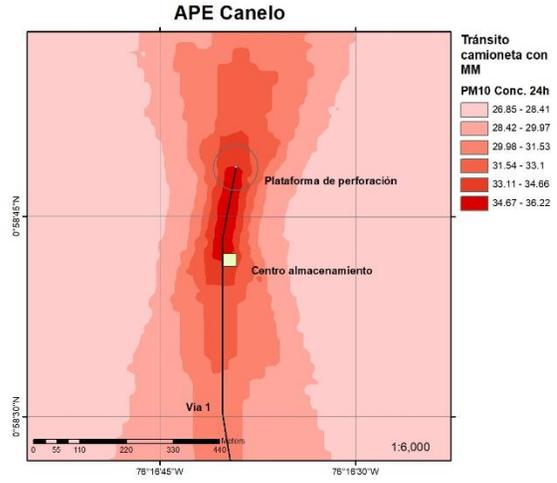


Figura 12. Dispersión PM10 Tránsito camioneta APE Canelo con MM. Fuente: Elaboración propia

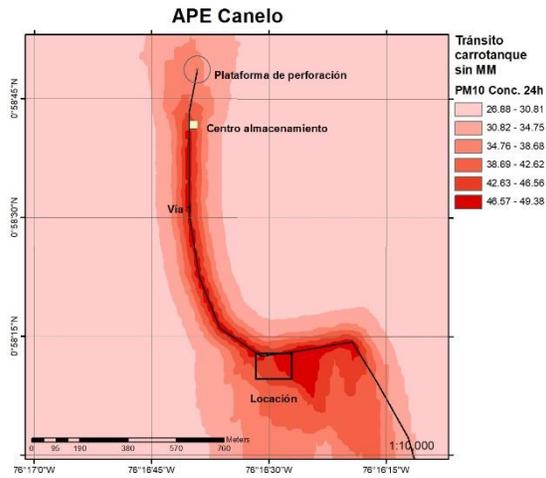


Figura 11. Dispersión PM10 Tránsito carrotanque APE Canelo sin MM. Fuente: Elaboración propia

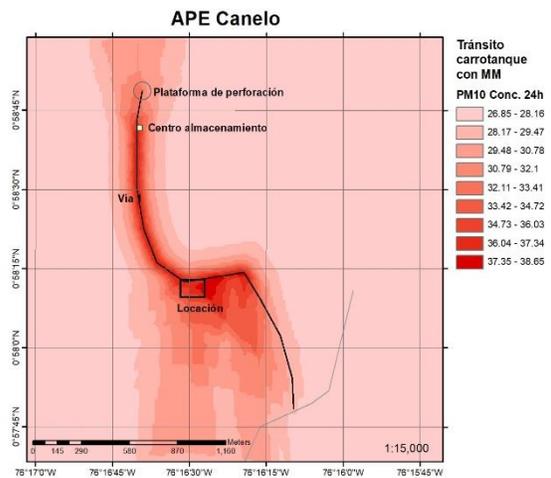


Figura 13. Dispersión PM10 Tránsito carrotanque APE Canelo con MM. Fuente: Elaboración propia

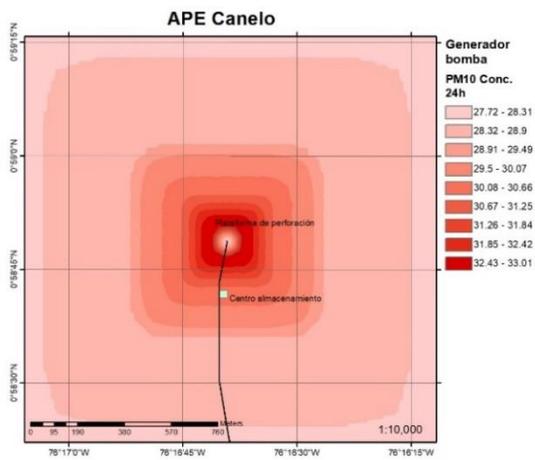


Figura 14. Dispersión PM10 operación bomba en plataforma APE Canelo. Fuente: Elaboración propia

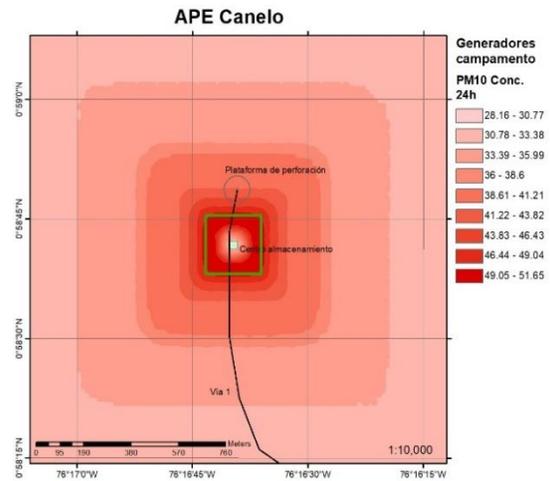


Figura 16. Dispersión PM10 operación campamento APE Canelo. Fuente: Elaboración propia

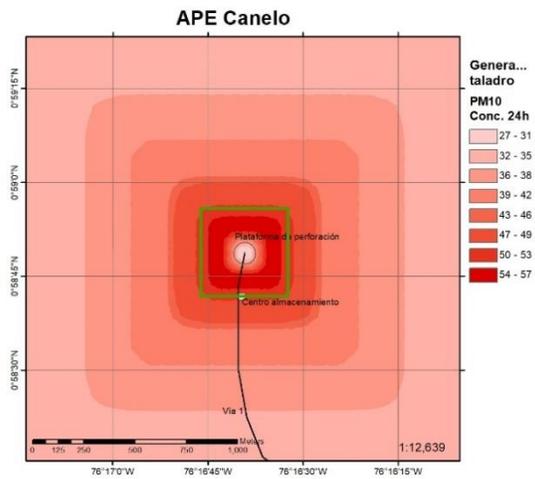


Figura 15. Dispersión PM10 operación taladro APE Canelo. Fuente: Elaboración propia

### 3.1.4 Área de influencia Directa APE Canelo

Se determinó el Área de Influencia Directa con medidas de mitigación, CMM (Figura 17), y sin medidas de mitigación, SMM (Figura 18).

Se hace la aclaración, que aplica solamente para construcción de la vía y construcción de la locación, el tránsito de camioneta y tránsito del carrotanque. Para la operación del campamento y del taladro no se aplican MM.

Tabla 17. Cuantificación del área de influencia directa CMM y SMM

APE Canelo	AID CMM (Hectáreas)	AID SMM (Hectáreas)
Construcción vía	90.11	278.42
Construcción locación	66.04	84.11
Operación campamento	N/A	4.07
Operación taladro perforación	N/A	19.28
<b>Total</b>	<b>156.15</b>	<b>385.88</b>

Fuente: elaboración propia

Al aplicar las medidas de mitigación para el total del AID esta se reduce en un 59.53%

El AID del proyecto licenciado por la ANLA es de 2114.18 Ha, de acuerdo al estudio realizado el AID CMM para el componente atmosférico es de 156.15 Ha que corresponde al 7.05% del Área licenciada; el AID SMM para el componente atmosférico es de 385.88 Ha que corresponde al 17.43% del Área licenciada.

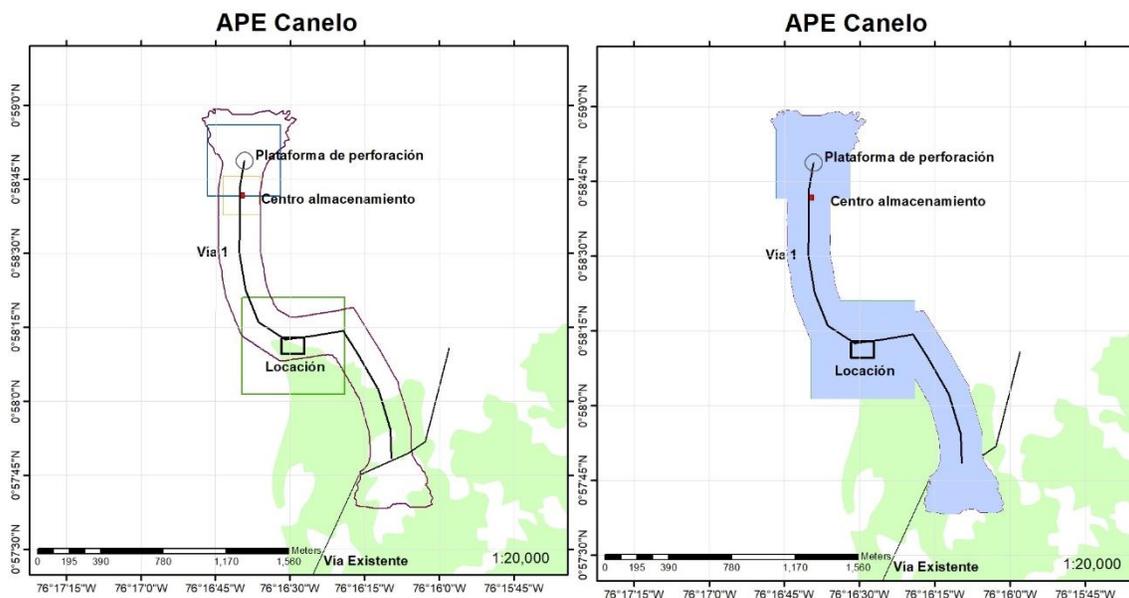


Figura 17. Área de Influencia Directa Proyecto APE Tamarín, Con Medidas de Mitigación. Fuente: Elaboración propia

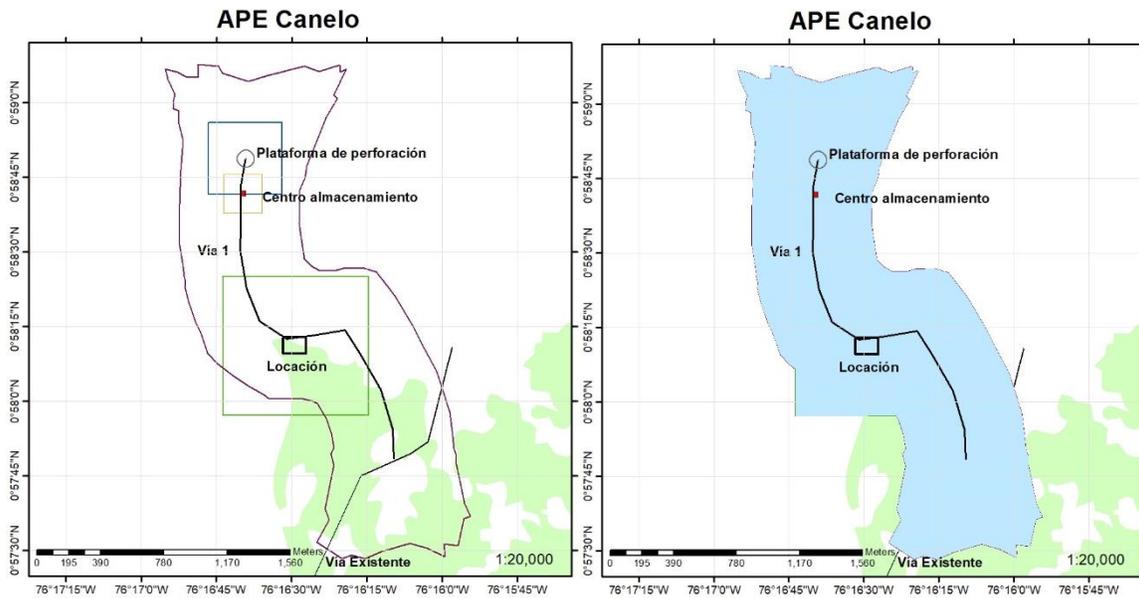


Figura 18. Área de Influencia Directa Proyecto APE Tamarín, Sin Medidas de Mitigación. Fuente: Elaboración propia

### 3.2 Caso proyecto APE Santa Ana

El área de interés de perforación exploratoria Santa Ana se encuentra ubicado en jurisdicciones de los municipios de Ariguani, con 6860.67 Ha, Santa Ana 58889.71 Ha y Pijiño del Carmen 5670.65 Ha, en el departamento de Magdalena para un total de 18420.04 Ha. A continuación, se muestra la Figura 19 de ubicación del APE Santa Ana.

Las coordenadas donde se encuentra el APE Santa Ana se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 18. Coordenadas APE Santa Ana

VÉRTICE	Datum: MAGNA Origen: ESTE	
	ESTE	NORTE
A	1023104.05	1554943.65
B	1015961.37	1554943.65
C	1011885.16	1575008.43
D	1023104.5	1575008.43

Fuente: Expediente público consultado en la ANLA (Estudio de impacto ambiental para el área de interés de perforación exploratoria Santa Ana, 2010)

El objeto de este proyecto es: Actividades exploratorias para el Área de interés exploratorio Santa Ana, el alcance de las actividades del proyecto incluye: construcción y/o adecuación de accesos y plataforma, construcción de locaciones y perforación de pozos.

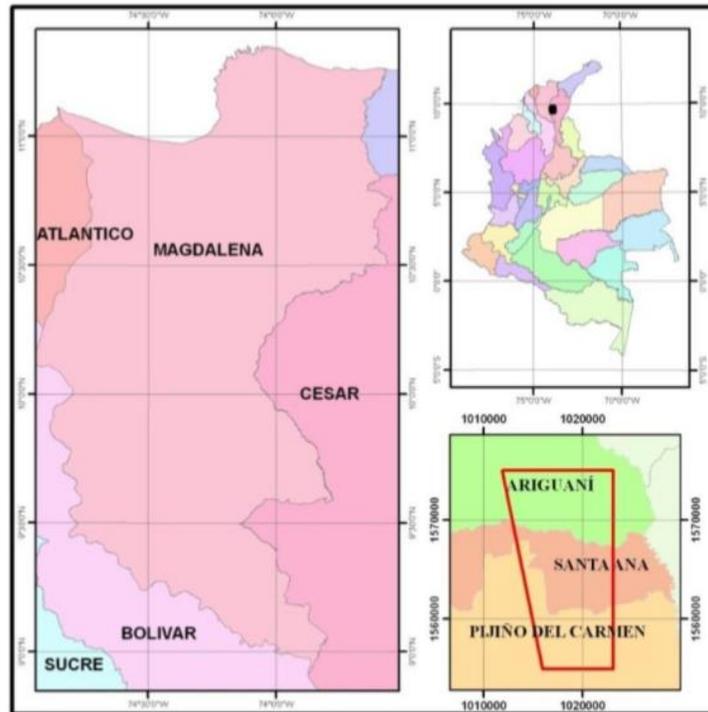


Figura 19. Ubicación geográfica APE Santa Ana. Fuente: : Expediente público consultado en la ANLA (Estudio de impacto ambiental para el área de interés de perforación exploratoria Santa Ana, 2010)

PETROLIFERA PETROLEUM (COLOMBIA) LIMITED, es la empresa contratista del proyecto, quienes contrataron a la firma Auditoria Ambiental LTDA, en el año 2010 para realizar el EIA con el cual solicitaron la licencia ambiental, este EIA fue presentado ante la autoridad competente, fue aprobado y la licencia ambiental les fue otorgada.

En este EIA se definió el Área de influencia directa e indirecta del proyecto sin referirse a ninguna metodología específica. La caracterización atmosférica se realizó para tres temas: Clima, calidad del aire y presión sonora.

Para la realización del análisis climático se empleó información existente de otros estudios y de registros de 7 estaciones del IDEAM ubicadas en el área de influencia indirecta.

Para evaluar la calidad del aire se hicieron monitoreos durante 10 días, comprendidos entre el 12 y 23 de Julio de 2010, lo anterior mediante el establecimiento de tres (3) estaciones ubicadas en el área de influencia, posterior a eso se analizaron los resultados con el objeto determinar las condiciones de calidad y dar cumplimiento a la normatividad ambiental.

### 3.2.1 Calidad del aire APE Santa Ana

El proyecto APE Santa Ana, en el departamento Magdalena (municipios Pijiño de Carmen y Ariguani), realiza monitoreo de calidad del aire en tres sitios (Tabla 19), el primero en la

Finca Panorama con poca afectación por actividades industriales. La segunda estación corresponde a la finca Olivo con poca afectación por actividades industriales, aunque si es afectada por fuentes lineales de vías cercanas. Por último, la tercera estación se instala en la finca El Acoso con características similares a las anteriores estaciones. La línea base se elabora mediante el monitoreo por un periodo de 10 días consecutivos para determinar la presencia de los siguientes contaminantes, PST, SO<sub>2</sub>, NOX/NO<sub>2</sub> y CO.

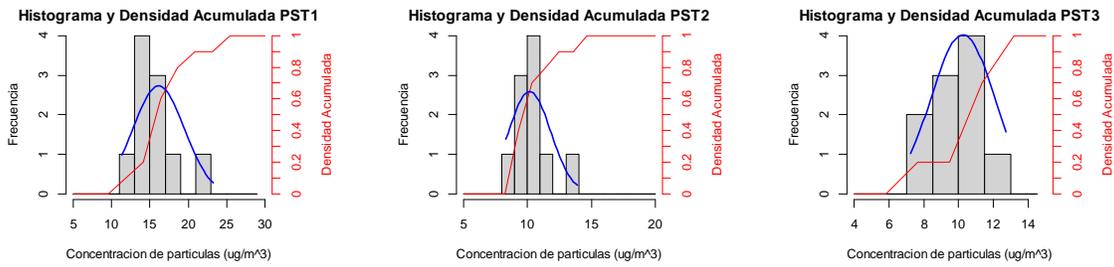
Tabla 19. Localización de estaciones de monitoreo de calidad del aire proyecto APE Santa Ana. (14/07/2010- 23/07/2010)

Especificaciones de la estación	Estación 1. Finca Panoramas (1)	Estación 2. Finca Olivo (2)	Estación 3. Finca El Acoso (3)
Departamento	Magdalena	Magdalena	Magdalena
Municipio	Pijiño de Carmen	Ariguani	Ariguani
Corregimiento / Vereda	No registra	No registra	No registra
Coordenada X	1017217	1017220	1013891
Coordenada Y	1565148	1571494	1573200
Sistema de Referencia	Bogotá	Bogotá	Bogotá
Días Programados	10	10	10
Días Realizados	10	10	10
Presión barométrica (mm Hg)	760	760	760
Temperatura (K)	303	303	303

*Fuente: Expediente público consultado en la ANLA (Estudio de impacto ambiental para el área de interés de perforación exploratoria Santa Ana, 2010). Observaciones: (1) No se evidencia procesos industriales que afecten la calidad del aire, no existen fuentes lineales de consideración de contaminación por material particulado, (2) No se evidencia procesos industriales que realicen emisiones a la atmosfera, no existen fuentes lineales de significativas. Hay posible afectación por el generador utilizado para suministro de potencia requerida por los equipos, (3) No se evidencio procesos industriales que realicen emisiones a la atmosfera, no existen fuentes lineales de consideración. Hay posible afectación por el generador utilizado para suministro de potencia requerida por los equipos.*

A continuación, se presentan resultados de los estudios de calidad del aire realizados.

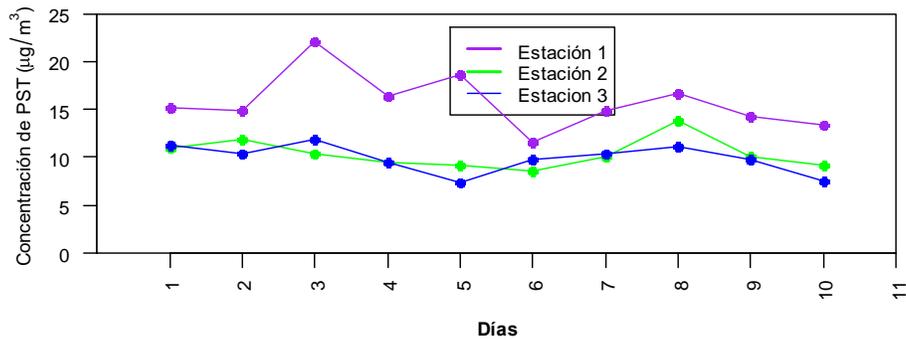
En el proyecto APE SANTANA se analiza el comportamiento de la concentración de partículas PST para un periodo de 10 días de estudio. El laboratorio no presenta registros de monitoreo de partículas PM<sub>10</sub>, por cuanto no fueron contratados. La Figura 20 (d) las líneas y puntos revelan el comportamiento individual de la concentración de partículas PST de las estaciones, y la variabilidad entre ellas. La Estación 1, Figura 20 (a), el histograma de frecuencia revela que hay una significativa cantidad de registros para los cuales las concentraciones oscilan entre 12 y 15 µg/m<sup>3</sup>, en comparación con las Figura 20 (b) y Figura 20 (c) las concentraciones más altas se encuentran en esta estación, alcanzando valores cercanos a 23 µg/m<sup>3</sup>, valor que se aproxima al percentil 90. Las estaciones 1 y 2, Figura 20 (b) y Figura 20 (c), muestran un histograma de frecuencias y distribución acumulada muy similares, situación que era de esperarse como se aprecia en la Figura 20 (d), por apreciación visual tenemos que la variabilidad de los datos y su dispersión muestran un comportamiento aparentemente similar. El percentil 90 en ambos casos es aproximadamente 13 µg/m<sup>3</sup>.



(a)

(b)

(c)



(d)

Figura 20. Resultados de monitoreo de partículas PST APE Santa Ana (a) Histograma de frecuencias y densidad acumulada de concentración de PST en la Estación 1 Finca Panorama, (b) Histograma de frecuencias y densidad acumulada de concentración de PST en la Estación 2 Finca Olivo, (c) Histograma de frecuencias y densidad acumulada de concentración de PST en la Estación 3 Finca de El Acoso, (d) líneas y puntos de registros de concentración de PST de las tres estaciones. Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, se presentan estadísticos de medidas de tendencia central (Tabla 20), medidas de posición relativa (Tabla 21), y dispersión de datos de la concentración de partículas PST de proyectos APE Santa Ana (Tabla 22). Los estadísticos indican que los resultados son homogéneos, la variabilidad de los datos reducida con excepción de los obtenidos en la segunda estación.

Tabla 20. Medidas de tendencia central de la concentración de partículas PST de proyecto APE Santa Ana

Contaminantes	Proyecto	# Est.	Media	Mediana	Media Geom.	Media armónica
PST	APE Santana	1	15,8	15,05	15,57	15.3
		2	10,32	10,1	10,22	10.1
		3	9,86	10	9,75	9.6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21 Medidas de posición relativa de la concentración de partículas PST de proyecto APE Santa Ana

Contaminantes	Proyecto	# Est.	1erC.	3erC	P90	P95	P99	Max
PST	APE Santana	1	14,38	16,62	21.7	22.1	22.1	22.1
		2	9,175	10,75	13.6	13.8	13.8	13.8
		3	9,47	10,92	11.8	11.9	11.9	11.9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22 Medidas de dispersión de la concentración de partículas PST PM10 de proyecto APE Santa Ana

Contaminantes	Proyecto	# Est.	Rango	Varianza	D. Estándar.	R. Inter cuantil
PST	APE Santana	1	10.5	8.51	2.91	2.2
		2	5.2	2.33	1.54	1.5
		3	4.5	2.20	1.48	1.4

Fuente: Elaboración propia

Para en análisis de impacto, se sumará a los resultados de la modelación ponderados por el tiempo, la concentración de calidad del aire que representa el percentil 75 de PST para el periodo de 24 horas. Para un análisis conservador se empleará el percentil 75 de la estación que revele el valor más alto de las tres estaciones de monitoreo. En el caso del APE Santa Ana el valor es de 16,62  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de PST como se aprecia en la Tabla 21.

### 3.2.2 Inventario de Emisiones APE Santa Ana

El proyecto APE Santa Ana tiene una duración aproximada de seis meses, tiempo en el cual se realizan actividades de construcción que emiten partículas PM10.

En los primeros dos meses se realizan tres actividades, 1) construcción de la vía de acceso al pozo, 2) construcción de la locación donde se ubican las instalaciones de apoyo y 3) perforación del pozo. La construcción de la vía y la locación incluyen las siguientes actividades: excavación de tierra, extracción de material, traslado de materiales en volquetas, tránsito de maquinaria y equipo. La perforación del pozo se realiza con un taladro de perforación, que requiere de cuatro generadores de energía eléctrica.

Utilizando el modelo de estimación de emisiones Road Construction Emission Model (RCEM) (Distrito Metropolitano de Gestión de la Calidad del Aire de Sacramento - Sac Metro, 2018) se obtienen resultados de, emisión de partículas PM10 proyecto APE Santa Ana con medidas de mitigación (Tabla 23), emisión de partículas PM10 proyecto APE Santa Ana sin medidas de mitigación (Tabla 24) . La emisión de partículas PM10 en fuentes fijas puntuales APE Santa Ana (Tabla 25Tabla 14) se estimó empleando factores de emisión de la EPA-USA (EPA, 1996)

En los siguientes seis meses se realizan las pruebas cortas de producción, para esto se pone en operación el campamento donde se realizan actividades administrativas mediante cuatro generadores de energía eléctrica y la bomba de extracción de crudo mediante un generador de energía eléctrica, además se realiza el traslado del crudo desde el pozo hasta un centro de acopio mediante camionetas diariamente y por último se traslada el crudo desde el centro de acopio hasta la locación mediante carrotanques una vez a la semana.

La emisión total de PM10 ponderada en el tiempo se presenta como, calendario de emisión de partículas PM10 con medidas de mitigación APE Canelo (Tabla 26) y calendario de emisión de partículas PM10 sin medidas de mitigación APE Canelo (Tabla 27).

Tabla 23. Emisiones APE Santa Ana con medidas de mitigación

Construcción vía Fases del proyecto	Total PM10 (kg/día)	Tubo de escape PM10 (kg/día)	Emisiones fugitivas PM10 (kg/día)
Descapote/Limpieza	0.026	0.004	0.022
Nivelación/Excavación	0.037	0.014	0.022
Drenaje/Base/Sub-base	0.035	0.013	0.022
Pavimentación	0.006	0.006	0.000
Máximo (kg/día)	0.037	0.014	0.022
<b>Total (kg/día)</b>	<b>0.104</b>	<b>0.037</b>	<b>0.067</b>
Construcción Locación Fases del proyecto	Total PM10 (kg/ día)	Tubo de escape PM10 (kg/ día)	Emisiones fugitivas PM10 (kg/ día)
Descapote/Limpieza	0.265	0.039	0.227
Nivelación/Excavación	0.338	0.111	0.227
Drenaje/Base/Sub-base	0.306	0.079	0.227
Pavimentación	0.036	0.036	0.000
Máximo (kg/día)	0.338	0.111	0.227
<b>Total (kg/día)</b>	<b>0.945</b>	<b>0.265</b>	<b>0.680</b>
Tránsito camioneta	PM 10 (kg/día)	PM 2.5 (kg/día)	PM 30 (kg/día)
Total	0.024311	0.002418	0.068003
Tránsito carrotanque	PM 10 (kg/día)	PM 2.5 (kg/día)	PM 30 (kg/día)
Total	0.026336	0.002619	0.073670

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24. Emisiones APE Santa Ana sin medidas de mitigación

Construcción vía Fases del proyecto	Total PM10 (kg/día)	Tubo de escape PM10 (kg/día)	Emisiones fugitivas PM10 (kg/día)
Descapote/Limpieza	0.161	0.004	0.157
Nivelación/Excavación	0.171	0.015	0.157

Drenaje/Base/Sub-base	0.170	0.013	0.157
Pavimentación	0.006	0.006	0.000
Máximo (kg/día)	0.171	0.015	0.157
Total (kg/día)	<b>0.508</b>	<b>0.037</b>	<b>0.471</b>
<b>Construcción</b>			<b>Emisiones fugitivas PM10 (kg/día)</b>
<b>Locación Fases del proyecto</b>	<b>Total PM10 (kg/día)</b>	<b>Tubo de escape PM10 (kg/día)</b>	
Descapote/Limpieza	0.49	0.04	0.45
Nivelación/Excavación	0.56	0.11	0.45
Drenaje/Base/Sub-base	0.53	0.08	0.45
Pavimentación	0.04	0.04	0.00
Máximo (kg/día)	0.56	0.11	0.45
Total (kg/día)	<b>1.61</b>	<b>0.27</b>	<b>1.35</b>
<b>Tránsito camioneta</b>	<b>PM 10 (kg/día)</b>	<b>PM 2.5 (kg/día)</b>	<b>PM 30 (kg/día)</b>
Total	0.048622	0.004862	0.136041
<b>Tránsito carrotanque</b>	<b>PM 10 (kg/día)</b>	<b>PM 2.5 (kg/día)</b>	<b>PM 30 (kg/día)</b>
Total	0.052674	0.005267	0.147378

Fuente: Elaboración propia

El estudio se realizó para dos escenarios posibles, el primero teniendo en cuentas medidas de mitigación (CMM) de emisiones de PM10 en la construcción de la vía, la construcción de la locación, tránsito de la camioneta y tránsito del carrotanque (Tabla 26). El otro escenario (Tabla 27), con las mismas fuentes de emisión, pero sin ningún tipo de medidas de mitigación (SMM).

Las medidas de mitigación redujeron en un 2.19% las emisiones de PM10, este valor no es significativo ya que las mayores fuentes de emisión son los generadores de energía que operan el taladro de perforación.

De acuerdo al estudio realizado, las emisiones de PM10 son mayores durante los primeros dos meses, la mayor fuente de emisión durante esta etapa corresponde a la operación del taladro de perforación. Las emisiones de PM10 son significativamente menores durante los siguientes seis meses, para esta fase la mayor fuente de emisiones es la operación del campamento.

Tabla 25. Emisión de fuentes fijas puntuales APE Santa Ana

<b>Generadores Taladro</b>	<b>PM 10 (kg/ día)</b>
Total 1 generador	7.95
Total 4 generadores	31.80

Generadores Campamento	PM 10 (kg/ día)
Total 1 generador	3.43
Total 4 generadores	13.72
Generador Plataforma (Bomba)	PM 10 (kg/ día)
Total 1 generador	3.43

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Emisiones mensuales con medidas de mitigación

Fuente	Mes	Emisiones PM10 (kg/día) con MM							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Construcción vía		0.10		-	-	-	-	-	-
Construcción Locación		0.47	0.47	-	-	-	-	-	-
Operación taladro perforación			31.80	-	-	-	-	-	-
Operación campamento		-	-	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29
Operación bomba de extracción		-	-	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
Tránsito camioneta		-	-	0.004052	0.004052	0.004052	0.004052	0.004052	0.004052
Tránsito carrotanque		-	-	0.004389	0.004389	0.004389	0.004389	0.004389	0.004389

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27. Emisiones mensuales sin medidas de mitigación

Fuente	Mes	Emisiones PM10 (kg/día) sin MM							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Construcción vía		0.51		-	-	-	-	-	-
Construcción Locación		0.81	0.81	-	-	-	-	-	-
Operación taladro perforación			31.80	-	-	-	-	-	-
Operación campamento		-	-	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29
Operación bomba de extracción		-	-	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
Tránsito camioneta		-	-	0.008104	0.008104	0.008104	0.008104	0.008104	0.008104
Tránsito carrotanque		-	-	0.008779	0.008779	0.008779	0.008779	0.008779	0.008779

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.3 Modelo de dispersión APE Santa Ana

Usando el modelo SCREEN3 se obtuvieron los resultados de la modelación, el modelo arroja los resultados en un archivo de información de salida (EXAMPLE.OUT) que puede ser visualizado con el block de notas de Microsoft Windows. Los archivos de salida se encuentran en los anexos de este documento, así como las gráficas de ubicación de los receptores.

Los datos de los resultados fueron transformados a un periodo de 24 horas usando el factor multiplicador recomendando por la EPA y a estos se les sumó la concentración de fondo. Los datos resultantes fueron transformados a isopletas de concentración mediante el software ArcGIS, limitando el área en la que los impactos sobrepasan las concentraciones permitidas por la norma.

Los resultados de la dispersión de partículas PST se elaboran para cada una de las fases del proyecto. Para la fase de construcción estas son, dispersión PST construcción vía APE Santa Ana sin MM (Figura 21), dispersión PST construcción vía APE Santa Ana con MM (Figura 23), dispersión PST construcción locación APE Santa Ana sin MM (Figura 22), dispersión PST construcción locación APE Santa Ana con MM (Figura 24), dispersión PST operación taladro APE Santa Ana (Figura 31).

Para la fase de operación están los resultados, dispersión PST Tránsito camioneta APE Santa Ana sin MM (Figura 26), dispersión PST Tránsito camioneta APE Santa Ana con MM (Figura 28), dispersión PST Tránsito carrotanque APE Santa Ana sin MM (Figura 25), dispersión PST Tránsito carrotanque APE Santa Ana con MM (Figura 27), dispersión PST operación bomba en plataforma APE Santa Ana (Figura 30), dispersión PST operación campamento APE Santa Ana (Figura 29).

A continuación, se muestran las isopletas de concentración que representan la dispersión de contaminantes por cada fase del proyecto:

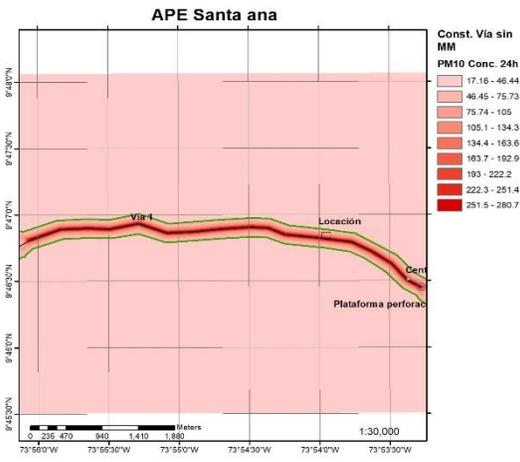


Figura 21. Dispersión PST construcción vía APE Santa Ana sin MM. Fuente: Elaboración propia

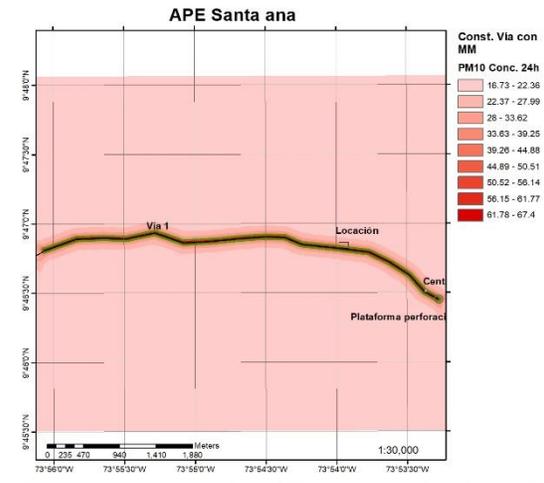


Figura 23. Dispersión PST construcción vía APE Santa Ana con MM. Fuente: Elaboración propia

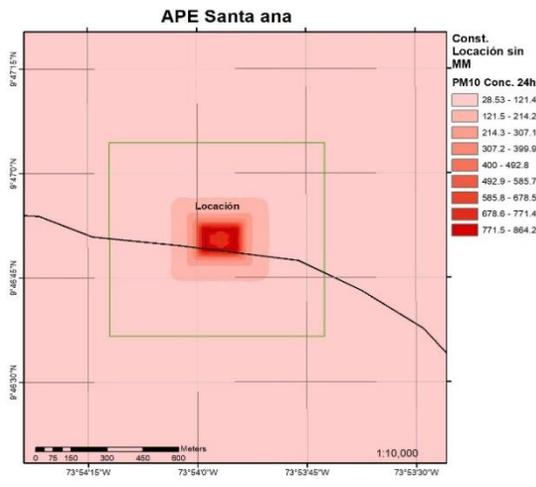


Figura 22. Dispersión PST construcción locación APE Santa Ana sin MM. Fuente: Elaboración propia

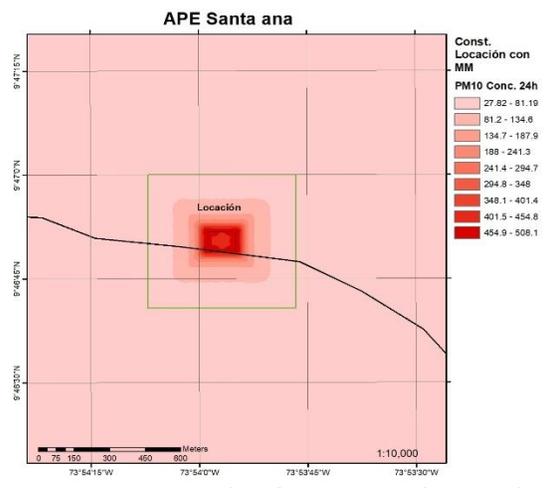


Figura 24. Dispersión PST construcción locación APE Santa Ana con MM. Fuente: Elaboración propia

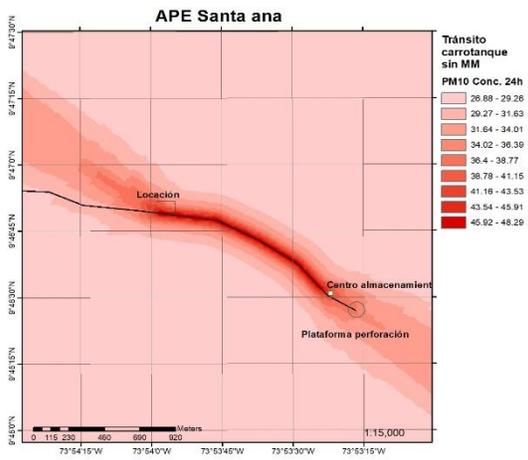


Figura 25. Dispersión PST Tránsito carrotaque APE Santa Ana sin MM. Fuente: Elaboración propia

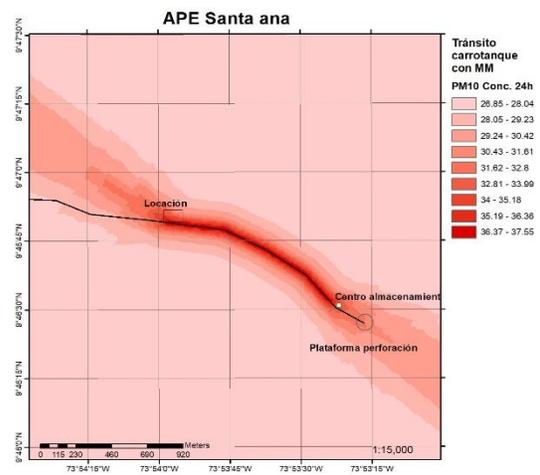


Figura 27. Dispersión PST Tránsito carrotaque APE Santa Ana con MM. Fuente: Elaboración propia

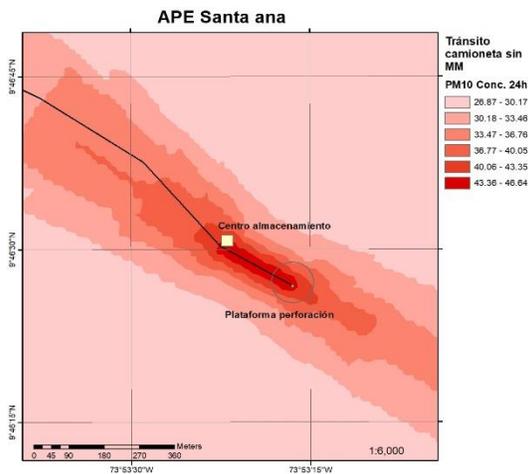


Figura 26. Dispersión PST Tránsito camioneta APE Santa Ana sin MM. Fuente: Elaboración propia

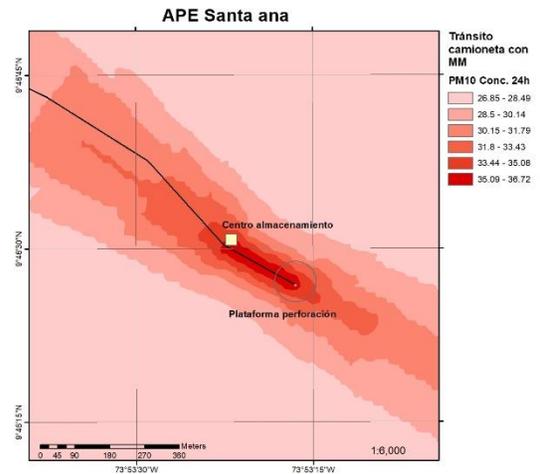


Figura 28. Dispersión PST Tránsito camioneta APE Santa Ana con MM. Fuente: Elaboración propia

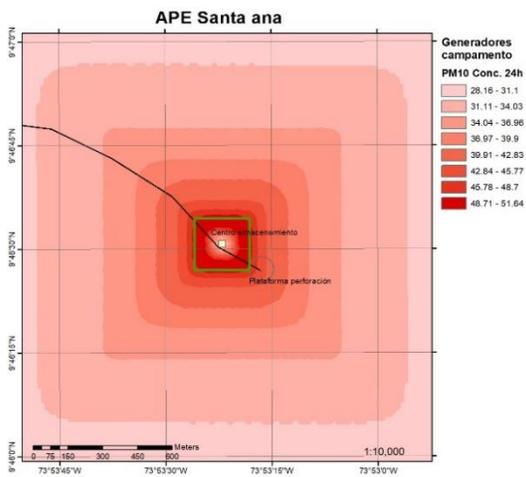


Figura 29. Dispersión PST operación campamento APE Santa Ana. Fuente: Elaboración propia

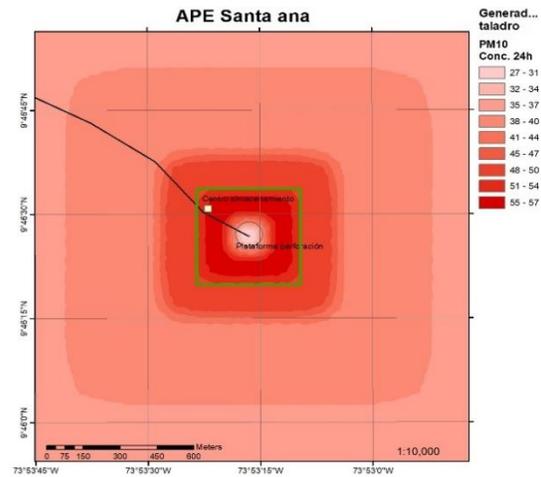


Figura 31. Dispersión PST operación taladro APE Santa Ana. Fuente: Elaboración propia

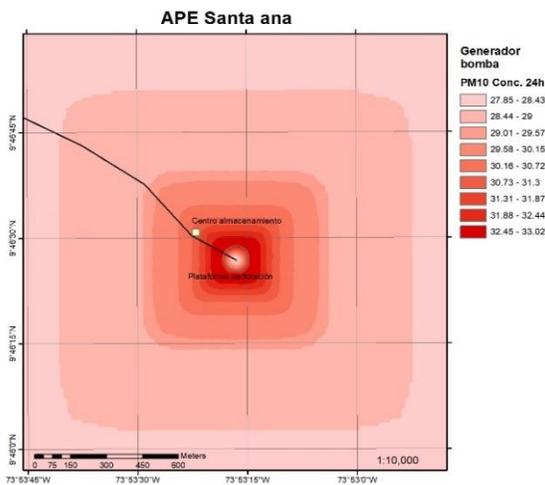


Figura 30. Dispersión PST operación bomba en plataforma APE Santa Ana. Fuente: Elaboración propia

### 3.2.4 Área de influencia Directa APE Santa Ana

Se determinó el Área de Influencia Directa con medidas de mitigación, CMM (Figura 32), y sin medidas de mitigación, SMM (Figura 33)

Se hace la aclaración, que aplica solamente para construcción de la vía y construcción de la locación, el tránsito de camioneta y tránsito del carrotanque. Para la operación del campamento y del taladro no se aplican MM.

Tabla 28. Cuantificación del área de influencia directa CMM y SMM

APE Santa Ana	AID CMM (Hectáreas)	AID SMM (Hectáreas)
Construcción vía	33.16	159.90
Construcción locación	66.04	84.11
Operación campamento	N/A	4.07
Operación taladro perforación	N/A	19.28
<b>Total</b>	<b>99.20</b>	<b>267.36</b>

Fuente: elaboración propia

Al aplicar las medidas de mitigación para el total del AID esta se reduce en un 62.90%

El AID del proyecto licenciado por la ANLA es de 18837.95 Ha, de acuerdo al estudio realizado el AID CMM para el componente atmosférico es de 99.20 Ha que corresponde al 0.54% del Área licenciada; el AID SMM para el componente atmosférico es de 267.36 Ha que corresponde al 1.45% del Área licenciada.

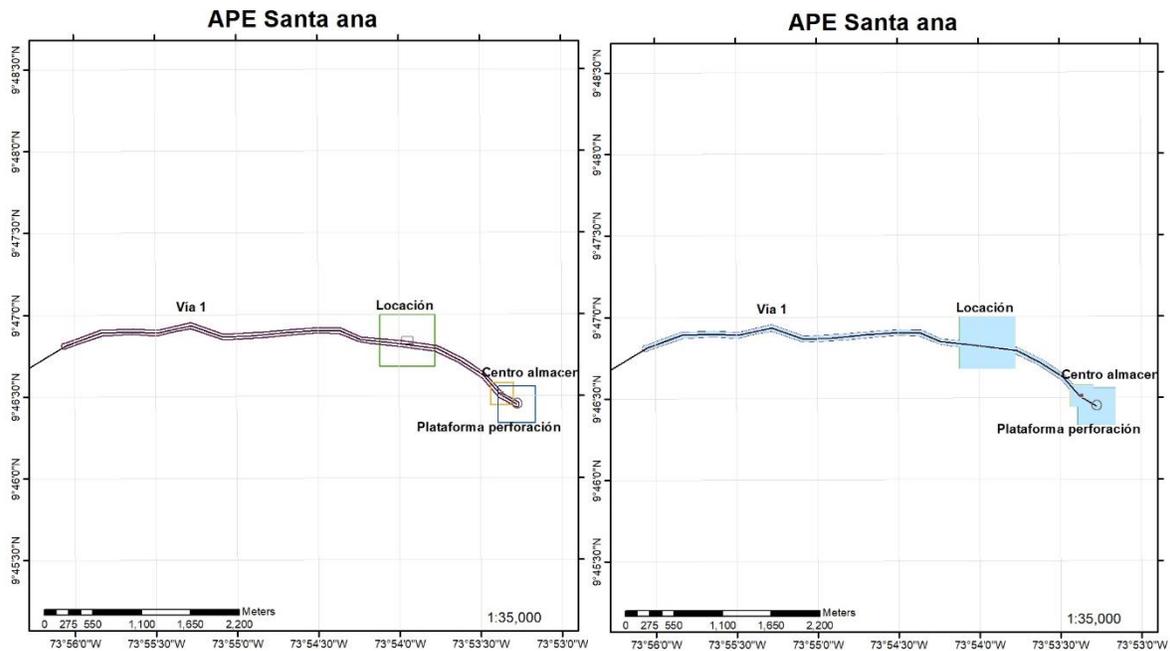


Figura 32. Área de Influencia Directa Proyecto APE Santa Ana, Con Medidas de Mitigación. Fuente: Elaboración propia

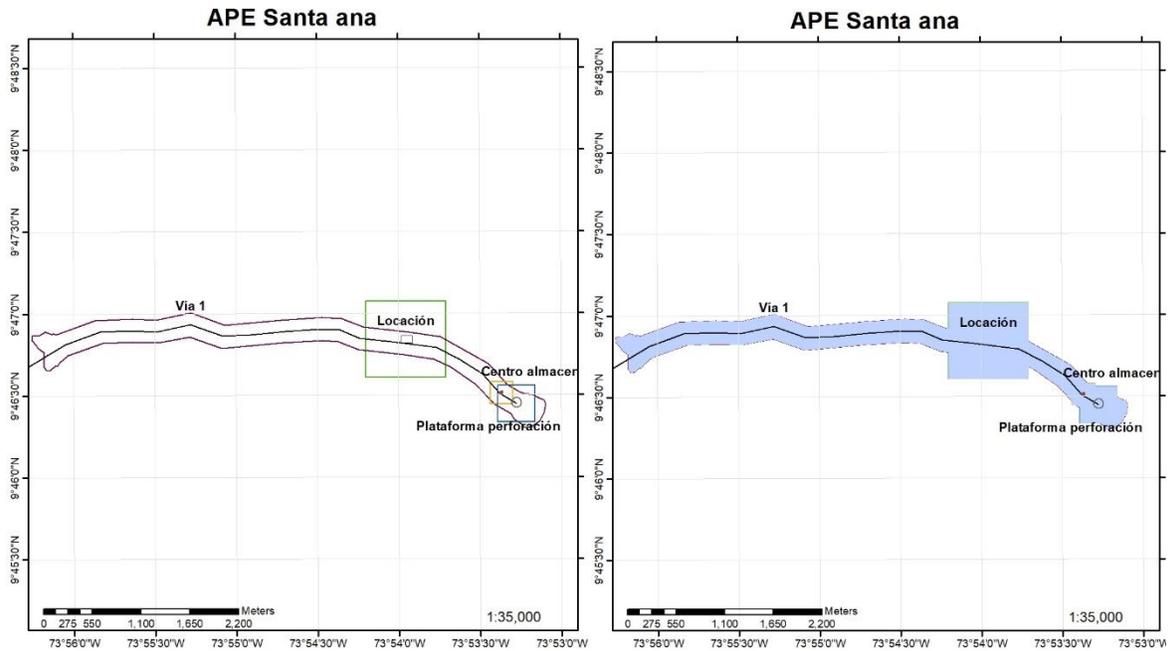


Figura 33. Área de Influencia Directa Proyecto APE Santa Ana, Sin Medidas de Mitigación. Fuente: Elaboración propia

### 3.3 Caso proyecto APE Tamarín

El Bloque Tamarín cuenta con un área total de 27.487 Ha y se encuentra ubicado en el departamento del Caquetá, en jurisdicción de los municipios de Puerto Rico y San Vicente del Caguán. A continuación, se muestra la ubicación del proyecto APE Canelo (Figura 34):

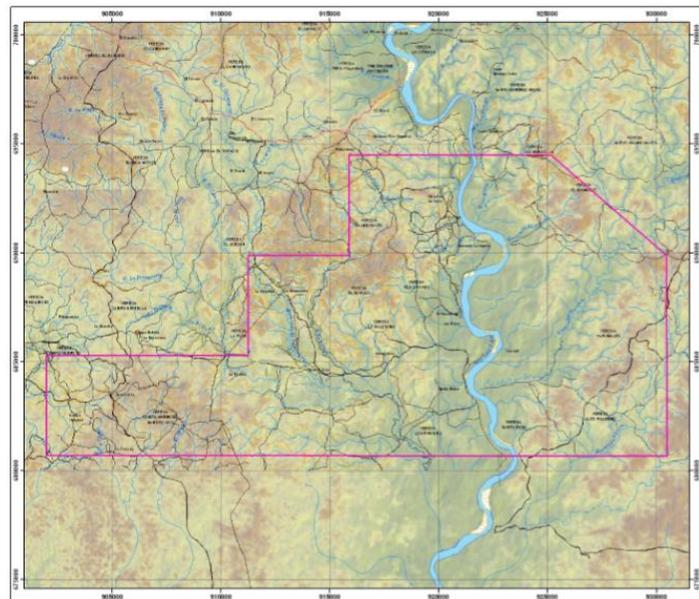


Figura 34. Ubicación geográfica APE Tamarín. Fuente: Expediente público consultado en la ANLA (Estudio de impacto ambiental para la perforación exploratoria del bloque Tamarín, 2010)

El objeto de este proyecto es Perforación Exploratoria en el Bloque Tamarín. El alcance del proyecto incluye las siguientes actividades:

- Adecuación de las vías existentes que conducen hacia el interior del Bloque Tamarín,
- Construcción de vías nuevas en longitudes de hasta 5km,
- Construcción de 3 locaciones multi pozos con áreas de 3 a 5ha cada una,
- Perforación de hasta 3 pozos por locación multi pozo; por método convencional a profundidades hasta 4.000 pies,
- Construcción de piscinas dentro de las locaciones para tratamiento de lodos o cortes durante la perforación o contratación de una empresa que realice esta actividad,
- Realización de pruebas cortas y extensas con los equipos necesarios,
- Construcción de instalaciones tempranas de producción; en una de las locaciones multi pozo.
- Instalación y operación de líneas de flujo de hasta 4", entre los pozos o hasta una instalación temprana de producción.

RANCHO HERMOSO S.A., es la empresa contratista del proyecto, quienes a su vez subcontratan a la firma GEOCOL CONSULTORES S.A., en el año 2010 para realizar el PMA de la licencia ambiental, este PMA fue presentado ante la autoridad competente, fue aprobado y la licencia ambiental fue otorgada.

En este EIA se definió el Área de influencia directa e indirecta del proyecto sin referirse a ninguna metodología específica. La caracterización atmosférica se realizó para tres temas: Clima, calidad del aire y presión sonora.

Para el análisis climático del área de influencia indirecta y directa, se utilizó información meteorológica suministrada por el IDEAM, de 27 estaciones ubicadas dentro y fuera del área de influencia.

En cuanto a la calidad del aire se realizó un trabajo de campo en cuatro (4) puntos localizados en el área del Bloque Tamarín por un espacio de 10 días continuos entre el 15 al 25 de abril del año 2010, se compararon con las normas de calidad del aire establecidas en la Resolución 601 de 2006, la cual fue modificada en su Artículo cuarto (4) por la Resolución 610 del 2010. Los resultados cumplieron con los límites establecidos por la normatividad ambiental.

### **3.3.1 Calidad del aire APE Tamarín**

El proyecto APE TAMARIN se opera en el departamento Caquetá (municipio San Vicente del Caguán), la construcción de la línea base se realiza en tres puntos de monitoreo (Tabla 29), el primero en la Estación de Policía de la vereda Santa Rosa, la segunda estación en Finca Sr Aldemar Marín en la vereda El Jordán, y el tercer monitoreo en la finca del Sr Leonel Agredo, vereda Campo Hermoso. Si bien el estudio no entrega detalles mayores sobre las características físicas de los sitios de monitoreo seleccionados, se asume que estos cumplen con especificaciones mínimas en macro localización y micro localización.

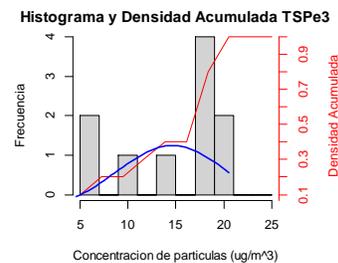
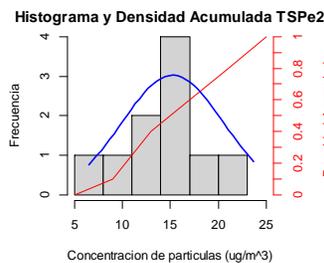
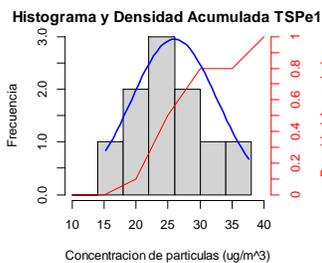
Tabla 29. Localización de estaciones de monitoreo de calidad del aire proyecto APE Tamarín (15/04/2010- 24/04/2010)

Especificaciones de la estación	Estación 1. Estación de policía	Estación 2. Finca Sr. Aldemar M.	Estación 3. Finca del Sr. Leonel A.
Departamento	Caquetá	Caquetá	Caquetá
Municipio	San Vicente del C.	San Vicente del C.	San Vicente del C.
Corregimiento / Vereda	Santa Rosa	El Jordán	Campo Hermoso
Coordenada X	683653	688222	680529
Coordenada Y	921272	914085	906187
Sistema de Referencia	Bogotá	Bogotá	Bogotá
Días Programados	10	10	10
Presión bar. (mm Hg)	736,42	737,42	737,42
Temperatura (K)	301,4	301,4	301,4

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan resultados de los estudios de calidad del aire.

La línea base del proyecto APE TAMARIN objeto de análisis corresponde a la determinación de partículas PST para un periodo de monitoreo de 10 días de estudio de campo. No se presentan registros de análisis de partículas PM10 por cuanto no formaba parte del objeto del estudio. El comportamiento de las distribuciones de la concentración de partículas PST y su variabilidad se aprecia en la secuencia de líneas y puntos de la Figura 35 (d), aparentemente las estaciones 2 y 3 tienen un comportamiento similar, sus valores oscilan entre 5 y 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En la Figura 35 (a), Estación 1, en el histograma de frecuencias se aprecia que las medidas de tendencia central es la más alta entre las tres estaciones, aproximadamente 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y el comportamiento es muy similar a una distribución normal, el percentil 90 es aproximadamente 36  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . La estación 2, Figura 35 (b), el histograma de frecuencias tiene un comportamiento similar a una distribución normal, pero los valores son inferiores a los hallados por la estación 1, las medidas de tendencia central están alrededor de 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y el percentil 90 es aproximadamente 24  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Finalmente, la Estación 3, Figura 35 (b), el histograma de frecuencias agrupa una buena cantidad de datos alrededor de 18  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y la curva de distribución normal es achatada por la dispersión de los datos, el percentil 90 es aproximadamente 90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



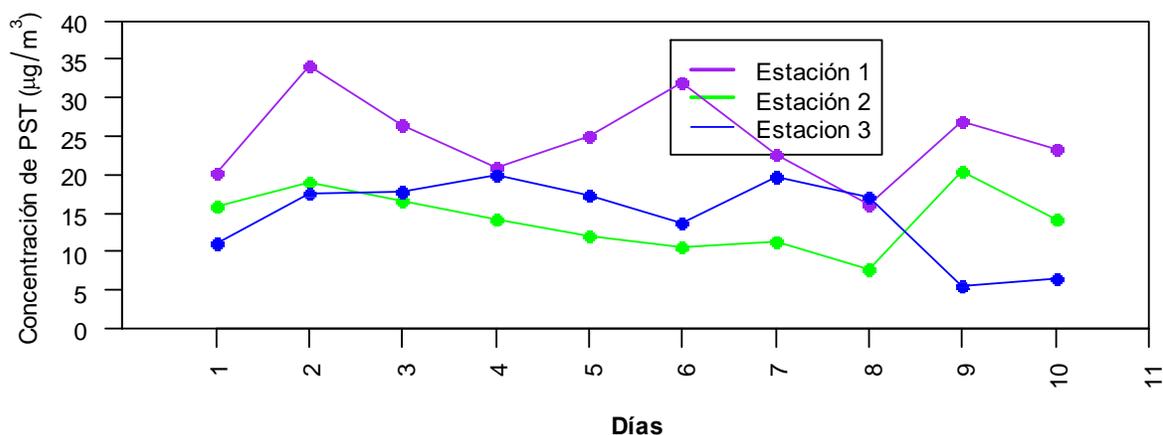


Figura 35 Resultados de monitoreo de partículas PST APE Tamarín, (a) Histograma de frecuencias y densidad acumulada de concentración de PST en la Estación 1 Estación de policía, (b) Histograma de frecuencias y densidad acumulada de concentración de PST en la Estación 2 Finca Sr. Aldemar Marín, (c) Histograma de frecuencias y densidad acumulada de concentración de PST en la Estación 3 Finca Sr. Leonel Agredo, (d) líneas y puntos de registros de concentración de PST de tres estaciones. Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, se presentan estadísticos de medidas de tendencia central (Tabla 30), medidas de posición relativa (Tabla 31), y dispersión de datos de la concentración de partículas (Tabla 32). Los estadísticos indican que los resultados son homogéneos, la variabilidad de los datos reducida con excepción de los obtenidos en la segunda estación.

Tabla 30. Medidas de tendencia central en partículas PST, proyecto APE Tamarín

Contaminantes	Proyecto	# Est.	Media	Mediana	Media Geom.	Media armónica
PST	APE Tamarín	1	24,79	24,14	24,25	23.7
		2	14,18	14,22	13,64	13.1
		3	14,65	17,17	13,51	12.1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31 Medidas de posición relativa en partículas PST, proyecto APE Tamarín

Contaminantes	Proyecto	# Est.	1erC.	3erC	P90	P95	P99	Max
PST	APE Tamarín	1	21,35	26,82	33.8	34.1	34.1	34.1
		2	11,45	16,45	20.4	20.5	30.5	20.5
		3	11,6	17,8	19.9	20.0	20.0	20.0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32 Medidas de dispersión en partículas PST, proyecto APE Tamarín

Contaminantes	Proyecto	# Est.	Rango	Varianza	D. Estándar.	R. Inter cuantil
PST	APE Tamarín	1	17.87	29.16	5.4	5.4
		2	12.93	15.68	3.96	5
		3	14.38	27.70	5.26	6.2

Fuente: Elaboración propia

Para el análisis de impacto, se sumará a los resultados de la modelación ponderados por el tiempo, la concentración de calidad del aire que representa el percentil 75 de PST, para el periodo de 24 horas. Para un análisis conservador se empleará el percentil 75 de la estación que revele el valor más alto de las tres estaciones de monitoreo. En el caso del APE Tamarín el valor es de 26,82  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de PST como se aprecia en la Tabla 31.

### 3.3.2 Inventario de emisiones APE Tamarín

El proyecto APE Tamarín tiene una duración aproximada de seis meses, tiempo en el cual se realizan actividades de construcción que emiten partículas PM10.

En los primeros dos meses se realizan tres actividades, 1) construcción de la vía de acceso al pozo, 2) construcción de la locación donde se ubican las instalaciones de apoyo y 3) perforación del pozo. La construcción de la vía y la locación incluyen las siguientes actividades: excavación de tierra, extracción de material, traslado de materiales en volquetas, tránsito de maquinaria y equipo. La perforación del pozo se realiza con un taladro de perforación, que requiere de cuatro generadores de energía eléctrica.

Utilizando el modelo de estimación de emisiones Road Construction Emission Model (RCEM) (Distrito Metropolitano de Gestión de la Calidad del Aire de Sacramento - Sac Metro, 2018) se obtienen resultados de, emisión de partículas PM10 proyecto APE Canelo con medidas de mitigación (Tabla 12), emisión de partículas PM10 proyecto APE Canelo sin medidas de mitigación (Tabla 13) . La emisión de partículas PM10 en fuentes fijas puntuales APE Canelo (Tabla 14) se estimó empleando factores de emisión de la EPA-USA (EPA, 1996)

En los siguientes seis meses se realizan las pruebas cortas de producción, para esto se pone en operación el campamento donde se realizan actividades administrativas mediante cuatro generadores de energía eléctrica y la bomba de extracción de crudo mediante un generador de energía eléctrica, además se realiza el traslado del crudo desde el pozo hasta un centro de acopio mediante camionetas diariamente y por último se traslada el crudo desde el centro de acopio hasta la locación mediante carrotanques una vez a la semana.

La emisión total de PM10 ponderada en el tiempo se presenta como, calendario de emisión de partículas PM10 con medidas de mitigación APE Tamarín (Tabla 33) y calendario de emisión de partículas PM10 sin medidas de mitigación APE Tamarín (Tabla 34).

Tabla 33. Emisiones APE Tamarín con medidas de mitigación

Construcción vía Fases del proyecto	Total PM10 (kg/día)	Tubo de escape PM10 (kg/día)	Emisiones fugitivas PM10 (kg/día)
Descapote/Limpieza	0.035	0.006	0.029
Nivelación/Excavación	0.050	0.021	0.029
Drenaje/Base/Sub-base	0.040	0.019	0.022
Pavimentación	0.008	0.008	0.000
Máximo (kg/día)	0.050	0.021	0.029
<b>Total (kg/día)</b>	<b>0.133</b>	<b>0.053</b>	<b>0.079</b>
Construcción Locación Fases del proyecto	Total PM10 (kg/ día)	Tubo de escape PM10 (kg/ día)	Emisiones fugitivas PM10 (kg/ día)
Descapote/Limpieza	0.265	0.039	0.227
Nivelación/Excavación	0.338	0.111	0.227
Drenaje/Base/Sub-base	0.306	0.079	0.227
Pavimentación	0.036	0.036	0.000
Máximo (kg/día)	0.338	0.111	0.227
<b>Total (kg/día)</b>	<b>0.945</b>	<b>0.265</b>	<b>0.680</b>
Tránsito camioneta	PM 10 (kg/día)	PM 2.5 (kg/día)	PM 30 (kg/día)
Total	0.024311	0.002418	0.068003
Tránsito carrotanque	PM 10 (kg/día)	PM 2.5 (kg/día)	PM 30 (kg/día)
Total	0.026336	0.002619	0.073670

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34. Emisiones APE Tamarín sin medidas de mitigación

Construcción vía Fases del proyecto	Total PM10 (kg/día)	Tubo de escape PM10 (kg/día)	Emisiones fugitivas PM10 (kg/día)
Descapote/Limpieza	0.208	0.006	0.202
Nivelación/Excavación	0.223	0.022	0.202
Drenaje/Base/Sub-base	0.220	0.019	0.202
Pavimentación	0.008	0.008	0.000
Máximo (kg/día)	0.223	0.002	0.202
<b>Total (kg/día)</b>	<b>0.659</b>	<b>0.054</b>	<b>0.605</b>
Construcción Locación Fases del proyecto	Total PM10 (kg/día)	Tubo de escape PM10 (kg/día)	Emisiones fugitivas PM10 (kg/día)
Descapote/Limpieza	0.49	0.04	0.45
Nivelación/Excavación	0.56	0.11	0.45

Drenaje/Base/Sub-base	0.53	0.08	0.45
Pavimentación	0.04	0.04	0.00
Máximo (kg/día)	0.56	0.11	0.45
<b>Total (kg/día)</b>	<b>1.61</b>	<b>0.27</b>	<b>1.35</b>
<b>Tránsito camioneta</b>	<b>PM 10 (kg/día)</b>	<b>PM 2.5 (kg/día)</b>	<b>PM 30 (kg/día)</b>
Total	0.048622	0.004862	0.136041
<b>Tránsito carrotanque</b>	<b>PM 10 (kg/día)</b>	<b>PM 2.5 (kg/día)</b>	<b>PM 30 (kg/día)</b>
Total	0.052674	0.005267	0.147378

*Fuente: Elaboración propia*

El estudio se realizó para dos escenarios posibles, el primero teniendo en cuentas medidas de mitigación (CMM) de emisiones de PM10 en la construcción de la vía, la construcción de la locación, tránsito de la camioneta y tránsito del carrotanque (Tabla 36). El otro escenario (Tabla 37), con las mismas fuentes de emisión, pero sin ningún tipo de medidas de mitigación (SMM).

Las medidas de mitigación redujeron en un 2.42% las emisiones de PM10, este valor no es significativo ya que las mayores fuentes de emisión son los generadores de energía que operan el taladro de perforación.

Tabla 35. Emisión de fuentes fijas puntuales APE Tamarín

<b>Operación taladro perforación</b>	<b>PM10 (kg/ día)</b>
Total 1 generador	7.95
Total 4 generadores	31.80
<b>Operación Campamento</b>	<b>PM10 (kg/ día)</b>
Total 1 generador	3.43
Total 4 generadores	13.72
<b>Operación Bomba en plataforma</b>	<b>PM 10 (kg/ día)</b>
Total 1 generador	3.43

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 36. Emisiones mensuales con medidas de mitigación

Fuente	Mes	Emisiones PM10 (kg/día) con MM							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Construcción vía		0.13		-	-	-	-	-	-
Construcción Locación		0.47	0.47	-	-	-	-	-	-
Operación taladro perforación			31.80	-	-	-	-	-	-
Operación campamento		-	-	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29
Operación bomba de extracción		-	-	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
Tránsito camioneta		-	-	0.004052	0.004052	0.004052	0.004052	0.004052	0.004052
Tránsito carrotanque		-	-	0.004389	0.004389	0.004389	0.004389	0.004389	0.004389

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37. Emisiones mensuales sin medidas de mitigación

Fuente	Mes	Emisiones PM10 (kg/día) sin MM							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Construcción vía		0.659		-	-	-	-	-	-
Construcción Locación		0.81	0.81	-	-	-	-	-	-
Operación taladro perforación			31.80	-	-	-	-	-	-
Operación campamento		-	-	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29
Operación bomba de extracción		-	-	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
Tránsito camioneta		-	-	0.008104	0.008104	0.008104	0.008104	0.008104	0.008104
Tránsito carrotanque		-	-	0.008779	0.008779	0.008779	0.008779	0.008779	0.008779

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3 Modelo de dispersión APE Tamarín

Usando el modelo SCREEN3 se obtuvieron los resultados de la modelación, el modelo arroja los resultados en un archivo de información de salida (EXAMPLE.OUT) que puede ser visualizado con el block de notas de Microsoft Windows. Los archivos de salida se encuentran en los anexos de este documento, así como las gráficas de ubicación de los receptores.

Los datos de los resultados fueron transformados a un periodo de 24 horas usando el factor multiplicador recomendando por la EPA y a estos se les sumó la concentración de fondo. Los datos resultantes fueron transformados a isopletas de concentración mediante el software ArcGIS, limitando el área en la que los impactos sobrepasan las concentraciones permitidas por la norma.

Los resultados de la dispersión de partículas PST se elaboran para cada una de las fases del proyecto. Para la fase de construcción estas son, dispersión PST construcción vía APE Tamarín sin MM (Figura 37), dispersión PST construcción vía APE Tamarín con MM (Figura 39), dispersión PST construcción locación APE Tamarín sin MM (Figura 36), dispersión PST construcción locación APE Tamarín con MM (Figura 38), dispersión PST operación taladro APE Tamarín (Figura 44).

Para la fase de operación están los resultados, dispersión PST Tránsito camioneta APE Tamarín sin MM (Figura 40), dispersión PST Tránsito camioneta APE Tamarín con MM (Figura 42), dispersión PST Tránsito carrotanque APE Tamarín sin MM (Figura 41), dispersión PST Tránsito carrotanque APE Tamarín con MM (Figura 43), dispersión PST operación bomba en plataforma APE Tamarín (Figura 46), dispersión PST operación campamento APE Tamarín (Figura 45).

A continuación, se muestran las isopletas de concentración que representan la dispersión de contaminantes por cada fase del proyecto:

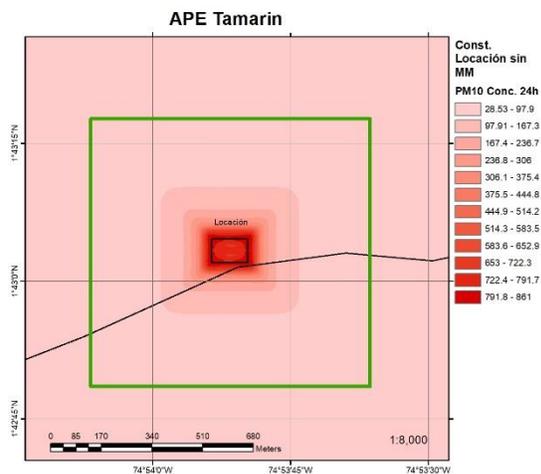


Figura 36. Dispersión PST construcción locación APE Tamarín sin MM. Fuente: Elaboración propia

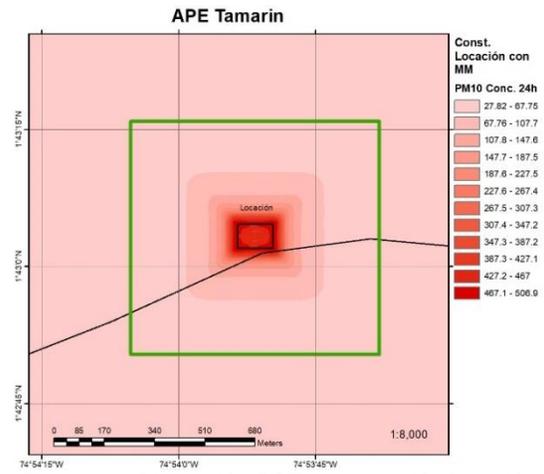


Figura 38. Dispersión PST construcción locación APE Tamarín con MM. Fuente: Elaboración propia

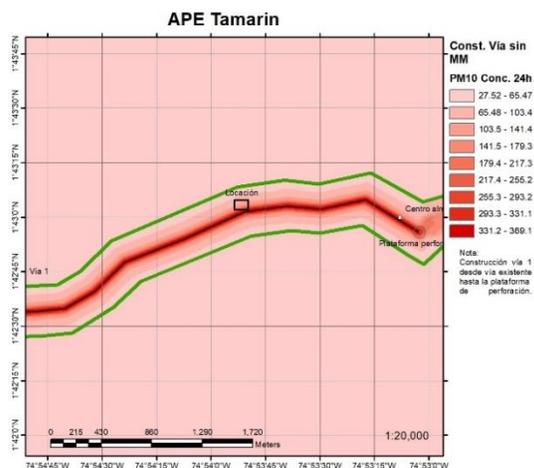


Figura 37. Dispersión PST construcción vía APE Tamarín sin MM. Fuente: Elaboración propia

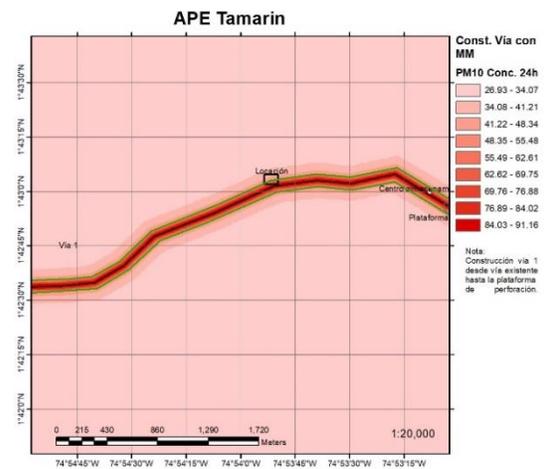


Figura 39. Dispersión PST construcción vía APE Tamarín con MM. Fuente: Elaboración propia

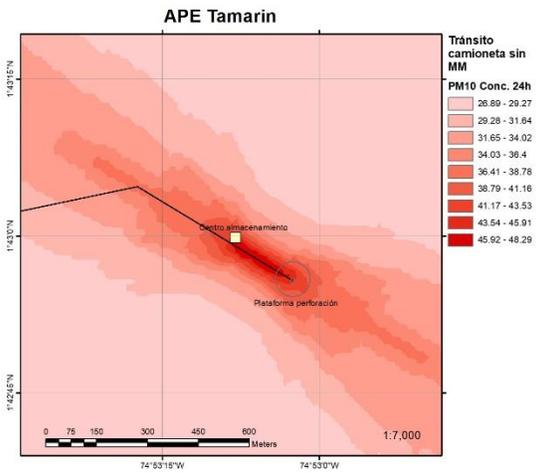


Figura 40. Dispersión PST Tránsito camioneta APE Tamarín sin MM. Fuente: Elaboración propia

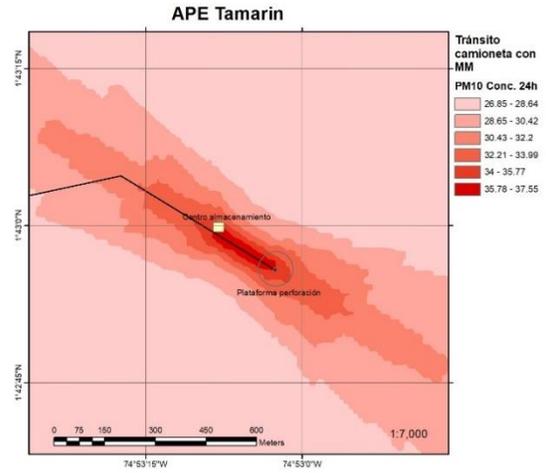


Figura 42. Dispersión PST Tránsito camioneta APE Tamarín con MM. Fuente: Elaboración propia

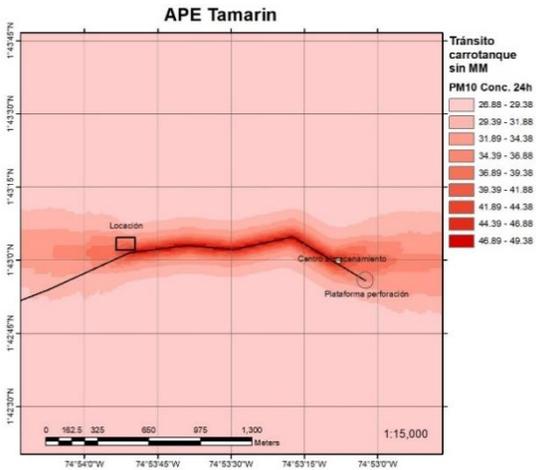


Figura 41. Dispersión PST Tránsito camión APE Tamarín sin MM. Fuente: Elaboración propia

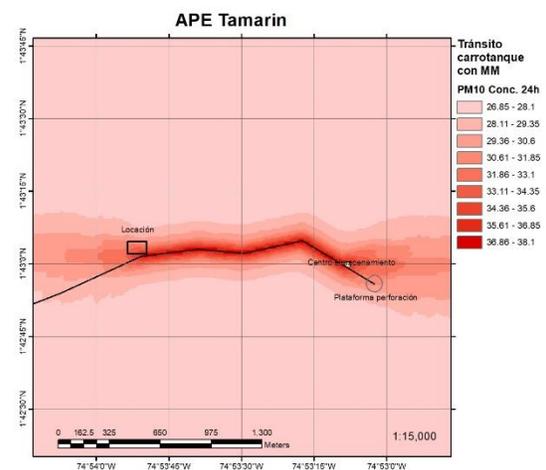


Figura 43. Dispersión PST Tránsito camión APE Tamarín con MM. Fuente: Elaboración propia

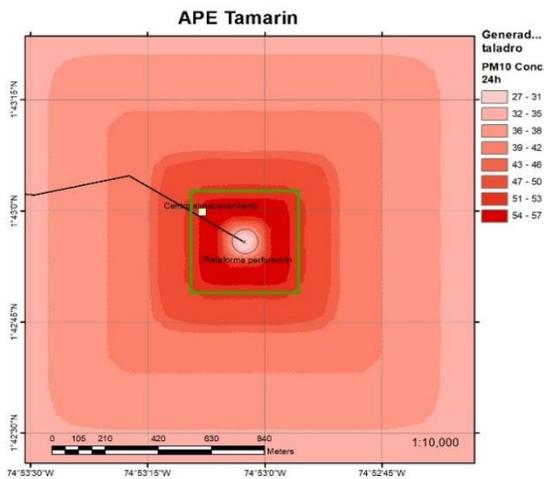


Figura 44. Dispersión PST operación taladro APE Tamarín. Fuente: Elaboración propia

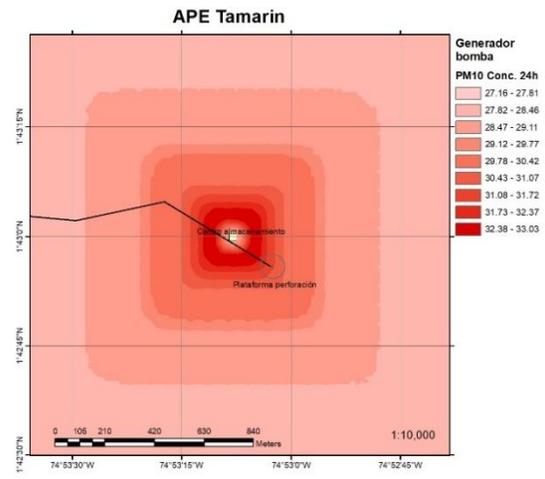


Figura 46. Dispersión PST operación bomba en plataforma APE Tamarín. Fuente: Elaboración propia

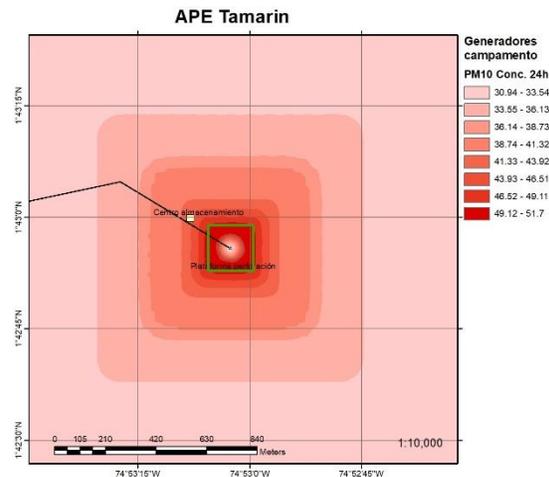


Figura 45. Dispersión PST operación campamento APE Tamarín. Fuente: Elaboración propia

### 3.3.4 Área de Influencia Directa APE Tamarín

Se determinó el Área de Influencia Directa con medidas de mitigación, CMM (Figura 47), y sin medidas de mitigación, SMM (Figura 48)

Se hace la aclaración, que aplica solamente para construcción de la vía y construcción de la locación, el tránsito de camioneta y tránsito del carrotanque. Para la operación del campamento y del taladro no se aplican MM.

Tabla 38. Cuantificación del área de influencia directa CMM y SMM

APE Tamarín	AID CMM (Hectáreas)	AID SMM (Hectáreas)
Construcción vía	48.90	191.91
Construcción locación	66.04	84.11
Operación campamento	N/A	4.07
Operación taladro perforación	N/A	19.28
<b>Total</b>	<b>114.94</b>	<b>299.37</b>

Fuente: Elaboración propia

Al aplicar las medidas de mitigación para el total del AID esta se reduce en un 61.61%

El AID del proyecto licenciado por la ANLA es de 27452.18 Ha, de acuerdo al estudio realizado el AID CMM para el componente atmosférico es de 114.94 Ha que corresponde al 0.42% del Área licenciada; el AID SMM para el componente atmosférico es de 299.37 Ha que corresponde al 1.09% del Área licenciada.

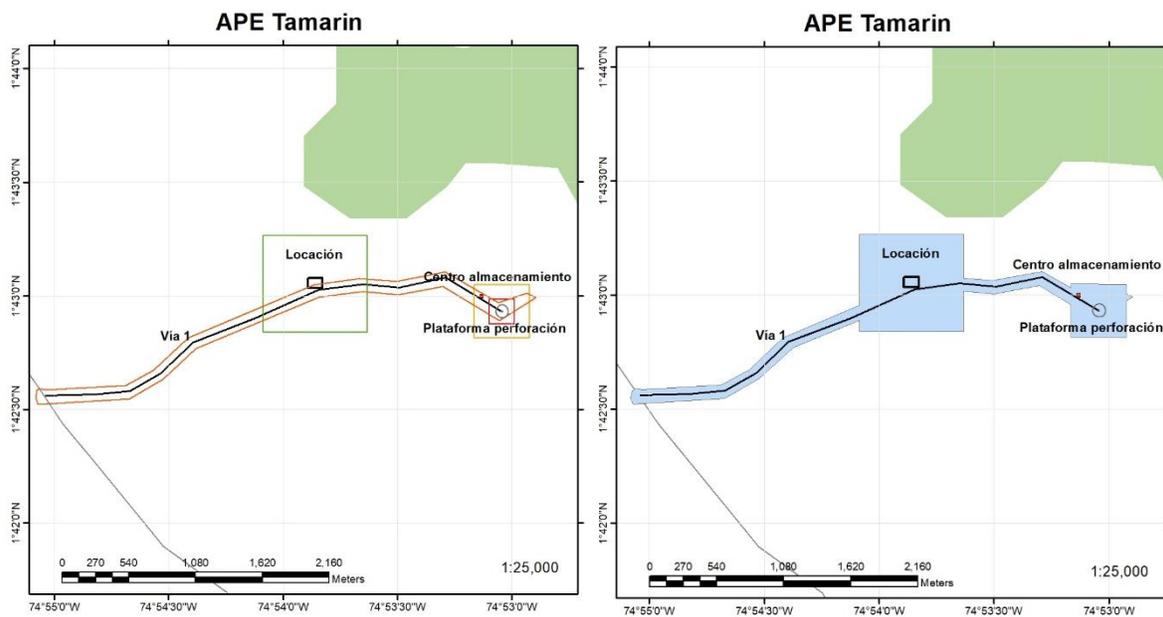


Figura 47 Área de Influencia Directa Proyecto APE Tamarín, Con Medidas de Mitigación. Fuente: Elaboración propia

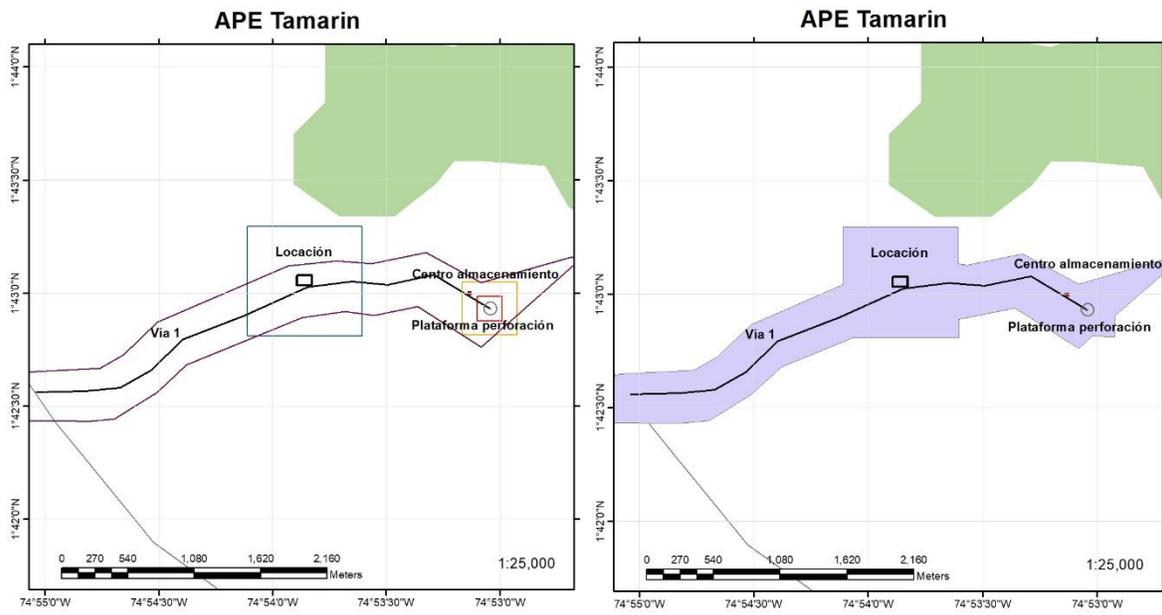


Figura 48. Área de Influencia Directa Proyecto APE Tamarín, Sin Medidas de Mitigación. Fuente: Elaboración propia

## 4 Lineamientos metodológicos

La metodología aplicada surge a partir del desarrollo de los estudios de caso de tres Proyectos de Perforación Exploratoria cuyos expedientes son de uso público y se encuentran reposados en las instalaciones de la ANLA, de donde fueron extraídos con el fin de realizar este ejercicio académico. La metodología aplicada para determinar el área de influencia del componente atmosférico para estos proyectos es la que se resumen a continuación:

1. Determinación de las fuentes de emisión: De acuerdo a las actividades típicas de los PPE se definieron cuáles de estas actividades hacen parte de las fuentes de emisión.
2. Determinación de la concentración de fondo: Se tomaron los resultados de los monitoreos de calidad del aire registrados en Estudios de Impacto Ambiental de cada proyecto. Con estos datos se determinó la concentración de fondo usando el percentil 75 de la estación que arrojó el valor más alto de las tres estaciones de monitoreo.
3. Inventario de emisiones: Para esto se hizo uso de los Factores de emisión EPA (AP42) y del modelo RoadConstructionEmissionsModelVer9 creado por el distrito metropolitano de gestión de calidad del aire de Sacramento, Estados Unidos.
4. Aplicación modelo SCREEN3: Usando la información del inventario de emisiones se aplicó el modelo SCREEN3. Los resultados de la modelación fueron transformados a un periodo de 24 horas usando el factor multiplicador recomendado por la EPA y se sumó la concentración de fondo determinada en el paso anterior.
5. Comparación con la norma: Los resultados de la modelación fueron comparados con la normal de calidad del aire, Resolución 2245 de 2017, y con las Guías de calidad del aire de la OMS. De acuerdo a lo recomendado por la ANLA en su Guía para la definición, identificación y delimitación del área de influencia, se toma como referencia para delimitar el área de influencia lo recomendado por la OMS.
6. Isolpetas de concentración: Los resultados de la modelación transformados a un periodo de 24 horas, son afectados mediante la agregación de la concentración de fondo (obtenidos en el paso 2) son graficados en forma de isopleas de concentración mediante el software ArcGIS, con el fin de determinar geográficamente el área en la cual se dispersan los contaminantes. Se puede emplear el método kriging o IDW, el que mejor ajuste los datos al comportamiento de la dispersión de contaminantes.
7. Definición del Área de influencia: Teniendo en cuenta las isopleas de concentración y las concentraciones máximas permitidas por la OMS, se limita geográficamente el

área dentro de la cual se exceden dichas concentraciones máximas, mediante el software ArcGIS. Esta área es definida con el área de influencia.

A continuación, se muestra un esquema general de la metodología aplicada:



Figura 49. Lineamientos metodológicos. Fuente: Elaboración propia

## 5 Conclusiones y recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

Se realizó una evaluación exploratoria retrospectiva para delimitación del AI del componente atmosférico en PPE, para formular una metodología que sirva para proyectos futuros. Se hizo la exploración del tema y se encontró que la normativa no exige hacer una modelación, sin embargo, los hallazgos sugieren que este instrumento tecnológico es fundamental para delimitar el AID del componente aire, motivo por el cual se hace necesario crear una metodología que sirva de guía para EIA.

Las indicaciones de los términos de referencia para determinar el AI del componente atmosférico no son suficientes, ya que para realizar la evaluación ambiental no sugiere metodología alguna, por el contrario, está sujeta a libre interpretación del consultor. En los casos revisados no se empleó modelación y el impacto a la calidad del aire fue determinado como poco significativo para el componente atmosférico.

Con relación a la elaboración de la línea base del clima, los términos de referencia sugieren emplear datos de estaciones meteorológicas oficiales existentes en la región, sin embargo, en Colombia las estaciones del IDEAM no reportan datos a intervalos horarios. Así es que de manera alternativa se puede utilizar el modelo SCREEN3 que no requiere información meteorológica en este nivel de detalle.

Los términos de referencia piden gran cantidad de información, pero en el momento de predecir los impactos no son claros en la forma en que se debería usar la información recolectada para determinar el impacto y con esto el AID. Además, en la evaluación de impactos hay un vacío con respecto a la metodología a implementar.

Las emisiones contaminantes deben ser medidas con equipos y métodos especializados aprobados por autoridades ambientales de reconocido prestigio. Adicionalmente, el comportamiento de dichas emisiones en la atmósfera, los tipos de contaminantes, la concentración y su dispersión, requieren el empleo de modelos matemáticos computarizados que simulan el transporte y destino de contaminantes en la zona de estudio; de esta forma se puede realizar una comparación con la normativa y saber si se cumple o no, inclusive se puede verificar si estas emisiones necesitan medidas de mitigación.

La modelación de dispersión de contaminantes es el mejor método para cuantificar los impactos en la atmósfera de manera razonable.

Los términos de referencia no exigen realizar modelación de dispersión de contaminantes y en consecuencia los EIA son aprobados y las licencias ambientales otorgadas sin realizar una evaluación objetiva del impacto en la calidad del aire.

Para realizar las modelaciones se pueden usar modelos unidimensionales como SCREEN3 o similares. También se pueden usar modelos refinados, pero depende de la calidad de la información primaria y secundaria que se obtenga para cada proyecto en particular. Siempre será mejor optar por modelos refinados por cuanto utilizan los avances más recientes en la materia y por lo tanto ofrecen menor incertidumbre en los resultados.

De acuerdo a los resultados obtenidos un PPE puede exceder considerablemente los límites de emisiones permitidas, sin embargo, la población más afectadas por salud es el personal que trabaja en este tipo de proyectos.

La propuesta metodológica sirve cómo guía y aproxima de manera acertada la evaluación de impactos para determinar el AID del componente atmosférico, por cuanto la modelación considera las emisiones generadas en el proyecto y el incremento de la concentración de contaminantes distancias especificadas por el usuario.

Es evidente que la mejor opción para determinar el AI es mediante el uso de modelos matemáticos computarizados, por lo que debería ser de carácter obligatorio y estar respaldado por las normas.

## **5.2 Recomendaciones**

La propuesta metodológica se puede utilizar en proyectos diferentes a perforación exploratoria, para la elaboración de estudios de evaluación de impacto ambiental y salud ocupacional.

Esta investigación podría realizarse con información primaria, es decir, hacer la investigación de un PPE mientras este está en desarrollo, esto daría una visión más amplia de las posibles dificultades que se puedan presentar en campo y los resultados serían más acertados.

El estudio también podría hacerse para otro tipo de proyectos cuya duración sea mayor a un año, con el fin de transformar los resultados del modelo a un periodo anual y también a un periodo de 24 horas, y hacer la comparación con la norma para ambos casos.

## 6 Referencias

- Adelle, C., & Weiland, S. (2012). Policy assessment: the state of the art. *Impact assessment and project appraisal*, 30(1), 25–33.
- Alcaldía de Bogotá. (s.f.). *Documentos para LICENCIA AMBIENTAL: Reglamentación*. Obtenido de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/listados/tematica2.jsp?subtema=21557>
- ANH. (2008). *Cadena Productiva de los Hidrocarburos*. Bogotá D.C.
- ANLA. (2010). *Términos de referencia Sector Hidrocarburos, Estudio de Impacto Ambiental, Proyectos de explotación de Hidrocarburos*. Bogotá D.C.: Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.
- ANLA. (2018). *Guía para la definición, identificación y delimitación del área de influencia*. Bogotá D.C.
- Arce Ruiz, R. M., Ortega Pérez, E., & Otero Pastor, I. (2010). Los sistemas de información geográfica aplicados a la evaluación ambiental en la planificación de las infraestructuras de transporte. *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, No. 165-166(2), 513-528.
- Auditoria Ambiental LTDA. (2010). *Estudio de impacto ambiental para el área de interés de perforación exploratoria Santa Ana*. Bogotá.
- Baldano Recio, J. M., Lázaro, C., & Soriano Ortiz, C. (1994). *Circulation of Air Pollutants over the Barcelona Geographical Area in Summer*. Proceedings of Sixth European.
- Banco Mundial. (2011). Anexo A - Definiciones. En *Operational Manual OP 4.01 - Evaluación Ambiental*. Obtenido de <https://ppfdocuments.azureedge.net/3901.pdf>
- Bond, A., Morrison-Saunders, A., & Howitt, R. (2013). Framework for comparing and evaluating sustainability assessment practice. *Sustainability assessment: pluralism, practice and progress*, Vol. 117(No. 131), 117-131. Research, ROUTLEDGE in association with GSE.
- Calderón, J., Martínez Prad, R., & Arrieta Loyo, G. (2013). Métodos de Evaluación de Impacto Ambiental en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 4(2), 43-53.
- Canter, L., & Sadler, B. (1997). *A Tool Kit for Effective EIA Practice: Review of Methods and Perspectives on Their Application: A Supplementary Report of the International Study of the Effectiveness of Environmental Assessment*. Environmental and Ground Water Institute, University of Oklahoma.
- Caterpillar. (5 de 5 de 2009). 3512B Marine Propulsion. Obtenido de <http://goldcoastpower.com/brochures/CAT%203512B%20Brochure%20Specification.pdf>
- Consultoría y Medio Ambiente C&MA Ltda. (2010). *Estudio de impacto ambiental. Área de interés exploratorio Canelo*. Puerto Guzmán.

- Convenio Interadministrativo 0133-2015 entre el Establecimiento Público Ambiental de Cartagena – EPA y la Universidad de Cartagena. (2015). *Diseño del sistema inteligente de monitoreo de la calidad ambiental del distrito de Cartagena*. Cartagena de indias.
- De nevers, N. H. (1998). *Ingeniería de control de la contaminación del aire*. México: McGraw Hill.
- Departamento Nacional de Planeación. (2018). *Valoración Económica de la Degradación Ambiental en Colombia 2015*. Bogotá D.C. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Valoraci%C3%B3n%20econ%C3%B3mica%20de%20la%20degradaci%C3%B3n%20ambiental.pdf>
- Distrito Metropolitano de Gestión de la Calidad del Aire de Sacramento - Sac Metro. (2018). Road Construction Emission Model (RCEM). Sacramento, EEUU.
- EPA. (1992). *Screening Procedures for Estimating the Air Quality Impact of Stationary Sources, Revised*. Research Triangle Park. NC.
- EPA. (1996). Chapter 3: Stationary Internal Combustion Sources. En *AP-42: Compilation of Air Emission Factors* (5 ed., Vol. 1, págs. 3.4-1 - 3.4-11).
- EPA. (2000). *Guía del Usuario del Modelo SCREEN3. EPA-454/B-95-004*. Obtenido de United States Environmental Protection Agency: <https://www3.epa.gov/ttnca1/cica/files/scrn3ds.pdf>
- EPA. (2013). *United States Environmental Protection Agency*. Obtenido de <https://www.epa.gov/scram/air-quality-dispersion-modeling-screening-models#screen3>
- EPA. (17 de Septiembre de 2016). *Air Quality Models*. Obtenido de United States Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/scram/air-quality-models>
- EPA. (Mayo de 2016). *United States Environmental Protection Agency*. Obtenido de [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-03/documents/proucl\\_one\\_page\\_fact\\_sheet.final\\_.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-03/documents/proucl_one_page_fact_sheet.final_.pdf)
- Fernández Barberis, G., & Escribano Ródenas, M. d. (2011). La Ayuda a la Decisión Multicriterio: orígenes, evolución y situación actual. *VI Congreso Internacional de Historia de la Estadística y de la Probabilidad*.
- Gaitán Varón, M., & Cárdenas Ruíz, P. (2017). Guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas. *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia*.
- García Leyton, L. A. (2004). *Aplicación de análisis multicriterio en la evaluación de impactos ambientales*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Geocol Consultores SA. (2010). *Estudio de impacto ambiental para la perforación exploratoria del bloque Tamarín*. Bogotá.
- IDEAM. (2002). *Anexo 9 Guía para la utilización de Modelos de Calidad del Aire, Auditoria a la red de monitoreo de calidad del aire de Bogotá*. Bogotá D.C.

- IDEAM. (2014). *IDEAM*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/contaminacion-atmosferica>
- IDEAM. (2017). *Contaminación y calidad ambiental*. Obtenido de Calidad del aire: <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire>
- IDEAM. (2017). *IDEAM*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/contaminacion-atmosferica>
- IDEAM. (2019). *Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2018*. Bogotá D.C.
- IDEAM. (s.f.). *Documentación ideam*. Obtenido de [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/001083/Course2/Lecturas/Monitoring/monitor\\_cap2.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/001083/Course2/Lecturas/Monitoring/monitor_cap2.pdf)
- Instituto Nacional de Salud. (2019). *Carga de la Enfermedad Ambiental en Colombia*. Obtenido de <https://www.ins.gov.co/Direcciones/ONS/Informes/10%20Carga%20de%20enfermedad%20ambiental%20en%20Colombia.pdf>
- Khaniabadi, Y. O., Sicard, P., Taiwo, A. M., De Marco, A., Esmaeili, S., & Rashidi, R. (2018). Modeling of particulate matter dispersion from a cement plant: Upwind-downwind case study. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(2), 3104-3110.
- Kozová, M., Drdoš, J., Pavličková, K., & Úradníček, Š. (1996). *Environmental impact assessment*. Comenius University in Bratislava, Bratislava .
- Kumar, P., Mulheron, M., Fisher, B., & Harrison, R. M. (2012). New Directions: Airborne ultrafine particle dust from building activities – a source in need of quantification. *Atmospheric Environment*, 56, 262-264.
- Kumar, P., Pirjola, L., Ketzler, M., & Harrison, R. (2013). Nanoparticle emissions from 11 non-vehicle exhaust sources – A review. *Atmospheric Environment*, 67, 252-277.
- León Peláez, J. D. (2002). *Evaluación de Impacto Ambiental de Proyectos de Desarrollo*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Mance, H. (2008). La política de la sostenibilidad: Ascenso y declive del Ministerio de Medio Ambiente colombiano. *Gobernabilidad, Instituciones y Medio Ambiente en Colombia* (págs. 101-238). Bogotá: Foro Nacional Ambiental.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Resolución 0421 del 20 de marzo de 2014*.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Resolución 2254 de 01 Nov 2017*. Bogotá D.C.
- Ministerio de Ambiente, vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Resolución 1543 del 6 de agosto de 2010*.
- Ministerio de Energía y Minas. (13 de 12 de 2013). Resolución Ministerial N° 0547-2013-MEM. Perú. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/minem/normas-legales/107967-0547-2013-mem>

- Ministerio de Medio Ambiente. (2002). *Manual de Evaluación de Estudios Ambientales*. Bogotá D.C.
- Ministerio de planificación federal, inversión pública y Servicios. (2007). *Manual de Evaluación y Gestión Ambiental de Obras Viales (MEGA II)*. Argentina. Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/obras-publicas/vialidad-nacional/institucional/informacion-publica/gestion-ambiental>
- Ministerio del Medio Ambiente. (6 de 10 de 2014). *Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental*. Santiago de Chile, Chile. Obtenido de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1053563&f=2014-10-06&p=>
- Moñino Aguilera , N., & Galdos Balzategi, A. (2008). *Exposición a la contaminación por actividad petrolera. (Sucumbíos, Ecuador)*.
- Morgan, R. (2012). Environmental impact assessment: the state of the art. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 30(1), 5-14.
- Naciones Unidas. (2019). *Cumbre sobre la Acción Climática ONU 2019*. Obtenido de <https://www.un.org/es/climatechange/un-climate-summit-2019.shtml>
- Naciones Unidas. (2019). *Las ciudades y la contaminación contribuyen al cambio climático*. Obtenido de <https://www.un.org/es/climatechange/cities-pollution.shtml>
- Organización Mundial de la Salud. (2003). *Cambio climático y salud humana: riesgos y respuestas: Resumen*.
- Organización Mundial de la Salud. (2016). *Informe de calidad de aire 2016*.
- Organización Mundial de la Salud. (2 de 5 de 2018). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Ozymy, J., & Melissa L, J. (2011). Upset over Air Pollution: Analyzing Upset Event Emissions at Petroleum Refineries. *Review of Policy Research*, 28(4), 365-382.
- Retief, F. (2010). The evolution of environmental assessment debates: critical perspectives from South Africa. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 12(4), 375–397.
- Ribeiro de Almeida, J., Camero, A., Rodrigues de Aquino, A., Guimaraes Monteiro, A., Harada Penna, M. A., Enrici, M. C., . . . Moreira Soares, P. S. (2008). *Análisis y Evaluación de Impactos Ambientales*. Río de Janeiro. Obtenido de <http://livroaberto.ibict.br/handle/1/914>
- Říha, J. (1995). *Environmental impact assessment of investments*. Academia, Praha.
- Říha, J. (2001). *Environmental impact assessment (in Czech)*. ČVUT, Praha.
- Rojas Díaz, D. A. (2013). *Licencias ambientales en Colombia: límites o autorizaciones para el uso de los recursos naturales (Tesis de maestría)*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- SEIA. (2012). *Guía para el uso de modelos de calidad del aire en el SEIA*.

- Servicio de Evaluación Ambiental. (2017). *Guía para la descripción del área de influencia*. Santiago de Chile.
- Sistema de Información Ambiental de Colombia. (s.f.). SIAC. Obtenido de <http://www.siac.gov.co/monitoreoaire#:~:text=Un%20Sistema%20de%20Vigilancia%20de,las%20actividades%20necesarias%20para%20su>
- Toro Calderón, J., Martínez Prada, R., & Arrieta Loyo, G. (2013). Métodos de evaluación de impacto ambiental en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 4(2), 43-53.
- Tyler, N., Acevedo Bohórquez, J., Bocarejo Suescún, J., & Velásquez, J. (2013). *Marco Teórico de contaminación atmosférica en Colombia*. University College London & Universidad de los Andes, Bogotá.
- Vargas, F., & Rojas, N. Y. (2010). Composición química y reconstrucción másica del material particulado suspendido en el aire de Bogotá. *Ingeniería e Investigación*, 30(2), 105-115.
- Vegas Salamanca, J., Alberruche del Campo, E., Carcavilla Urquí, L., Díaz Martínez, E., García Cortés, Á., García de Domingo, A., & Ponce de León Gil, D. (2012). *Guía metodológica para la integración del Patrimonio Geológico en la evaluación de impacto ambiental*. Madrid: Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente & IGME. Obtenido de [http://libros.igme.es/product\\_info.php](http://libros.igme.es/product_info.php).
- Villasenor, R., Magdaleno, M., Quintanar, A., Gallardo, J., López, M., Jurado, R., . . . Barchet, W. (2003). An air quality emission inventory of offshore operations for the exploration and production of petroleum by the Mexican oil industry. *Atmospheric Environment*, 37(26), 3713-3729.
- Viloria Villegas, M. I. (2015). *Metodología para evaluación de impacto ambiental de proyectos de infraestructura en Colombia*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Waxman, H. A. (1999). Oil refineries fail to report millions of pounds of harmful emissions. *Minority Staff. Special Investigations Division Committee on Government Reform. US House of Representatives*.
- Wilson, D. (1979). Flow patterns over flat-roofed buildings and application to exhaust stack design. *ASHRAE Transactions*, 85, 284-295.
- Zeleňáková, M., & Zvijáková, L. (2017). Environmental Impact Assessment—State of the Art. En M. Zeleňáková, & L. Zvijáková, *Using Risk Analysis for Flood Protection Assessment* (págs. 1-72). Springer, Cham.

Anexo 1. Lista de chequeo PPE consultados  
(Ver este anexo en el CD adjunto)

Anexo 2. Inventario de emisiones y modelo APE Canelo  
(Ver este anexo en el CD adjunto)

Anexo 3. Inventario de emisiones y modelo APE Santa Ana  
(Ver este anexo en el CD adjunto)

Anexo 4. Inventario de emisiones y modelo APE Tamarín  
(Ver este anexo en el CD adjunto)