



ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL LÍNEA ELÉCTRICA DE CONEXIÓN PARQUES EÓLICOS BETA Y ALPHA A SUBESTACIÓN CUESTECITAS

CAPITULO 7.8 EMISIONES ATMOSFÉRICAS



NOVIEMBRE 2024

Elaboró	Revisó y Aprobó	
Geocol Consultores	EDP Renewables	ISA Intercolombia

TABLA DE CONTENIDO

7	DEMANDA, USO, APROVECHAMIENTO Y/O AFECTACIÓN DE RECURSOS NATURALES	1
7.8	EMISIONES ATMOSFÉRICAS	2
7.8.1	Alcances, premisas y suposiciones del modelo	2
7.8.1.1	Alcance	2
7.8.1.2	Premisas	2
7.8.1.3	Suposiciones	3
7.8.2	Marco legal	4
7.8.3	Descripción del proceso	5
7.8.3.1	Fuentes de emisiones atmosféricas	6
7.8.3.2	Fuentes de emisión por desarrollo de actividad	7
7.8.3.3	ESCENARIOS DE MODELACIÓN	8
7.8.4	Metodología	10
7.8.4.1	Modelo de Dispersión	10
7.8.4.2	Escala espacial de modelación	11
7.8.4.3	Escala temporal de modelación	12
7.8.4.4	Meteorología	12
7.8.4.5	Temperatura	14
7.8.4.6	Precipitación	14
7.8.4.7	Altura de mezcla	15
7.8.4.8	Radiación solar	16
7.8.4.9	Humedad relativa	17
7.8.4.10	Nubosidad	18
7.8.4.11	Viento	18
7.8.4.12	Estabilidad atmosférica	19
7.8.5	Tipo de modelo	23
7.8.5.1	Modelo de campana Gaussiana	23
7.8.5.2	AERMOD	25
7.8.5.3	Aviation Environmental Design Tool (AEDT) Versión 3e	26
7.8.6	Simulación de Emisiones	27
7.8.7	Dominio de modelación	29
7.8.7.1	Modelo de elevación digital	31
7.8.8	Receptores	32
7.8.8.1	Inventario de fuentes de emisiones atmosféricas	39
7.8.9	Emisiones del proyecto	39
7.8.9.1	Fuentes Lineales	40
7.8.9.2	Factores de emisión por resuspensión	42
7.8.9.3	Factores de emisión por fuentes móviles	44
7.8.9.4	Fuentes de área	45
7.8.9.5	Factores de emisión por descapote	46
7.8.9.6	Movimiento y carga de material a granel	47
7.8.9.7	Fuentes móviles por maquinaria no vial alimentada con diésel	48
7.8.9.8	Actividades de voladuras	49
7.8.10	Resultados del inventario de emisiones	50
7.8.10.1	Escenario 1	50
7.8.10.2	Escenario constructivo sin medidas de control	51
7.8.11	Escenario constructivo con medidas de control	52
7.8.12	Concentración de fondo	74
7.8.13	Resultados por escenario de modelación	78
7.8.13.1	Escenario 1. Escenario base (Sin proyecto)	79
7.8.13.2	Escenario 2. Construcción del proyecto sin medidas de control	103
7.8.14	Material particulado PM2.5	108
7.8.14.1	Dióxido de azufre	112

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL LÍNEA ELÉCTRICA DE CONEXIÓN PARQUES EÓLICOS BETA Y ALPHA A SUBESTACIÓN CUESTECITAS	
Versión 2	Noviembre 2024	

7.8.14.2	Dióxido de Nitrógeno.....	118
7.8.14.3	Monóxido de Carbono	123
7.8.14.4	Escenario 3. Construcción y operación del proyecto con medidas de control.....	130
7.8.15	Análisis de receptores In.....	140
7.8.16	Aseguramiento de la calidad.....	143
7.8.16.1	Análisis de sensibilidad	143
7.8.17	Validación del modelo de AERMOD	154
7.8.18	Conclusiones.....	159

LISTA DE TABLAS

Tabla 7-1	Permisos a solicitar para el desarrollo del proyecto	1
Tabla 7-2	Límites máximos admisibles de concentración de contaminantes atmosféricos en calidad del aire, a condiciones de referencia (25 °C, 760 mm Hg)	4
Tabla 7-3	Límites máximos admisibles de concentración de contaminantes tóxicos en calidad del aire, a condiciones de referencia (25 °C, 760 mm Hg)	5
Tabla 7-4	Descripción de los escenarios para modelar en AERMOD	9
Tabla 7-5	Tiempos estimados por grupo de fuentes de modelación según escenario	11
Tabla 7-6	Niveles máximos admisibles para evaluación de impactos de emisiones sobre calidad del aire	12
Tabla 7-7	Estaciones meteorológicas IDEAM	12
Tabla 7-8	Categorías de estabilidad atmosférica	20
Tabla 7-9	Tipos de estelas según estabilidad atmosférica	20
Tabla 7-10	Clasificación del terreno y el valor z0	21
Tabla 7-11	Tipos fuentes de emisión consideradas en AEDT y AERMOD	28
Tabla 7-12	Factores de emisión para la aeronave de eje rotatorio Bell 212 Huey (UH-1N) (CH-135)	29
Tabla 7-13	Resumen de receptores de interés	34
Tabla 7-14	Constantes para cálculo de emisiones por Resuspensión	43
Tabla 7-15	Constantes para cálculo de emisiones por Resuspensión	44
Tabla 7-16	Factores de emisión para fuentes móviles en países en vías de desarrollo	44
Tabla 7-17	Factores de emisión para fuentes con partículas suspendidas No controladas: Maquina rascadora	46
Tabla 7-18	Factores K multiplicador según tamaño de partículas	48
Tabla 7-19	Factores de emisión de nivel 1 para maquinaria todoterreno	48
Tabla 7-20	Factores de emisión de monóxido de carbono para detonación de explosivos	49
Tabla 7-21	Factores de emisión de monóxido de carbono para detonación de explosivos	49
Tabla 7-22	Inventario de emisión escenario actual	50
Tabla 7-23	Inventario de emisión escenario constructivo sin medidas de control	51
Tabla 7-24	Inventario de emisión escenario constructivo con medidas de control	52
Tabla 7-25	Listado de fuentes de emisión ingresadas a AERMOD.	54
Tabla 7-26	Ficha técnica modelo de dispersión de contaminantes.	73
Tabla 7-27	Concentración de fondo establecida	75
Tabla 7-28	Evaluación normativa de los resultados de modelación en los receptores sensibles	141
Tabla 7-29	Valores de las variables características del uso del suelo utilizadas en el análisis de sensibilidad.	144
Tabla 7-30	Valores de las variables características del uso del suelo utilizadas en el análisis de sensibilidad.	145
Tabla 7-31	Sistema de clasificación de calidad para factores de emisiones.	153
Tabla 7-32	Sistema de clasificación de calidad para factores de Emisión AP 42	153
Tabla 7-33	Rangos de Incertidumbre para Indicadores de calidad de información de factores de emisión	154
Tabla 7-34	Resumen de resultados de evaluación del AERMOD para bases de datos non-downwash.	157
Tabla 7-35	Resumen de resultados de evaluación del AERMOD para bases de datos downwash.	158

LISTA DE FIGURAS

Figura 7-1	Actividad de los grupos de fuentes de emisiones atmosféricas contempladas para el proyecto Línea eléctrica de conexión parques eólicos Beta y Alpha a subestación Cuestecitas.....	2
Figura 7-2	Localización general del Proyecto Línea eléctrica de conexión parques eólicos Beta y Alpha a subestación Cuestecitas	6
Figura 7-3	Esquema conceptual de las fuentes lineales existentes.....	7
Figura 7-4	Esquema para definición de albedo, rugosidad y relación de Bowen durante el procesamiento de datos meteorológicos con AERMET.	13
Figura 7-5	Temperaturas medias mensuales multianuales Escuela Agrícola Carraipia (IDEAM) y WRF	14
Figura 7-6	Número días con lluvia y WRF	15
Figura 7-7	Precipitación media multianual estación Cuestecita.	15
Figura 7-8	Altura de Mezcla.	16
Figura 7-9	Radiación solar promedio mensual multianual estaciones IDEAM y WRF.	17
Figura 7-10	Humedad relativa promedio mensual multianual estación Escuela Agrícola Carraipia (IDEAM) y WRF.....	17
Figura 7-11	Rosa de vientos media anual (2023) – Histograma de distribución de frecuencia de velocidad del viento promedio multianual.	18
Figura 7-12	Rosa de vientos promedio periodo –2023 diurna (6:00 –18:00) – Histograma de distribución de frecuencia de velocidad del viento promedio diurno (6:00 –18:00).....	18
Figura 7-13	Rosa de vientos promedio periodo 2022–2023 nocturna (18:00 –24:00) – Histograma de distribución de frecuencia de velocidad del viento promedio nocturno (18:00–24:00)	19
Figura 7-14	Definición de los rangos de la variable 1/L m–1 en función de z0 y las categorías	21
Figura 7-15	Relación longitud de Monin–Obukhov y estabilidad atmosférica según Golder	22
Figura 7-16	Histograma de frecuencias para categorías de estabilidad atmosférica	23
Figura 7-17	Modelo de dispersión Gaussiano con la fuente virtual a una altura efectiva, H, de la chimenea.	24
Figura 7-18	Esquema de flujo de información utilizado por el sistema AERMOD.	25
Figura 7-19	Esquema conceptual del modelo AEDT.	27
Figura 7-20	Coordenadas de definición del dominio de modelación *Origen Único Nacional”	30
Figura 7-21	Coordenadas de definición del dominio de modelación *Origen Único Nacional”	31
Figura 7-22	Modelo de elevación digital procesado por AERMAP	32
Figura 7-23	Receptores para simulación de dispersión de contaminantes en AERMOD.....	33
Figura 7-24	Receptores para simulación de dispersión de contaminantes en AEDT3f.....	34
Figura 7-25	Modelo conceptual para fuentes de emisión lineales.	40
Figura 7-26	Modelo conceptual para fuentes de emisión de Área.....	45
Figura 7-27	Proporción de Contaminantes Criterio Escenario base	50
Figura 7-28	Proporción de Contaminantes Criterio Escenario 2 sin Medidas de Control	51
Figura 7-29	Proporción de Contaminantes Criterio Escenario 2 con Medidas de Control.....	53
Figura 7-30	Fuentes lineales: incluyen vías y corredores de vías de acceso	53
Figura 7-31	Fuentes de área: Incluyen zonas de construcción del parque y zonas de montaje de torres de energía	54
Figura 7-32	Diagramas de cajas y bigotes para resultados de PM10 de las 5 estaciones de muestreo. .	76
Figura 7-33	Diagrama de cajas y bigotes para resultados de PM2.5 de las 5 estaciones de muestreo ..	76
Figura 7-34	Diagramas de cajas y bigotes para resultados de SO2.	77
Figura 7-35	Diagrama de cajas y bigotes para resultados de NO2.	77
Figura 7-36	Diagrama de cajas y bigotes para resultados de CO.	78
Figura 7-37	Calidad del Aire Proyectada PM10 máximo diario, Escenario 1.....	80
Figura 7-38	Calidad del aire PM10 proyectado percentil 50 de los datos diarios, Escenario 1	81
Figura 7-39	Calidad del Aire Proyectada PM10 Promedio Anual, Escenario 1.	82
Figura 7-40	Diagramas de cajas y bigotes para los datos de concentración horarios de PM10 proyectados por el modelo de dispersión de contaminantes en estaciones del SVCAI. (Concentración de fondo incluida).....	83
Figura 7-41	Calidad del Aire Proyectada PM2.5 máximo diario, Escenario 1	84

Figura 7-42	Calidad del Aire Proyectada PM2.5 Promedio Anual, Escenario 1.	85
Figura 7-43	Calidad del aire PM2.5 proyectado percentil 50 de los datos diarios, Escenario 1.....	86
Figura 7-44	Diagramas de cajas y bigotes para los datos de concentración horarios de PM2.5 proyectados por el modelo de dispersión de contaminantes en estaciones del SVCAI. (Concentración de fondo incluida).....	87
Figura 7-45	Calidad del Aire Proyectada SO2 24 Horas, Escenario 1.	88
Figura 7-46	Calidad del Aire SO2 Proyectado percentil 50 de los datos diarios, Escenario 1.	89
Figura 7-47	Calidad del Aire SO2 Proyectado 1 hora, Escenario 1.....	90
Figura 7-48	Calidad del aire. SO2 proyectado percentil 50 de los datos horarios, Escenario 1.....	91
Figura 7-49	Diagramas de cajas y bigotes para los datos de concentración diarios de SO2 24H proyectados por el modelo de dispersión de contaminantes en estaciones del SVCAI. (Concentración de fondo incluida).....	92
Figura 7-50	Diagramas de cajas y bigotes para los datos de concentración diarios de SO2 1H proyectados por el modelo de dispersión de contaminantes en estaciones del SVCAI. (Concentración de fondo incluida).....	93
Figura 7-51	Calidad del Aire Proyectada NO2 1 Hora, Escenario 1.....	94
Figura 7-52	Calidad del Aire Proyectada NO2 1 Hora percentil 50, Escenario 1.....	95
Figura 7-53	Calidad del Aire Proyectada SO2 Promedio Anual, Escenario 1.....	96
Figura 7-54	Diagramas de cajas y bigotes para los datos de concentración en 1H de NOx proyectados por el modelo de dispersión de contaminantes en estaciones del SVCAI. (Concentración de fondo incluida).	97
Figura 7-55	Calidad del Aire Proyectada CO 1 Hora, Escenario 1.	98
Figura 7-56	Calidad del Aire Proyectada CO 8 Horas, Escenario 1.	99
Figura 7-57	Calidad del Aire Proyectada CO 1 Hora percentil 50, Escenario 1.	100
Figura 7-58	Calidad del Aire Proyectada CO 8 Horas percentil 50, Escenario 1.	101
Figura 7-59	Diagramas de cajas y bigotes para los datos de concentración en 1h de CO proyectados por el modelo de dispersión de contaminantes en estaciones del SVCA. (Concentración de fondo incluida).....	102
Figura 7-60	Diagramas de cajas y bigotes para los datos de concentración en 8h de CO proyectados por el modelo de dispersión de contaminantes en estaciones del SVCA. (Concentración de fondo incluida).....	103
Figura 7-61	Calidad del Aire Proyectada PM10 máximo diario, Escenario 2.	105
Figura 7-62	Calidad del Aire Proyectada PM10 Promedio Anual, Escenario 2.	106
Figura 7-63	Calidad del Aire PM10 proyectado percentil 50 de los datos diarios, Escenario 2.....	107
Figura 7-64	Diagramas de cajas y bigotes para los datos de concentración 24 h de PM10 proyectados por el modelo de dispersión de contaminantes en estaciones del SVCAI. (Concentración de fondo incluida)	108
Figura 7-65	Calidad del Aire Proyectada PM2.5 máximo diario, Escenario 2.	109
Figura 7-66	Calidad del Aire Proyectada PM2.5 percentil 50, Escenario 2.	110
Figura 7-67	Calidad del Aire Proyectada PM2.5 Promedio Anual, Escenario 2.....	111
Figura 7-68	Diagramas de cajas y bigotes para los datos de concentración 24 h de PM 2,5 proyectados por el modelo de dispersión de contaminantes en estaciones del SVCAI y en puntos de interés. (Concentración de fondo incluida).....	112
Figura 7-69	Calidad del Aire Proyectada SO2 24 Horas, Escenario 2.	113
Figura 7-70	Calidad del Aire Proyectada SO2 1 Hora, Escenario 2.....	114
Figura 7-71	Calidad del Aire Proyectada SO2 24 Horas percentil 50, Escenario 2.	115
Figura 7-72	Calidad del Aire Proyectada SO2 1 Hora percentil 50, Escenario 2.....	116
Figura 7-73	Diagramas de cajas y bigotes para los datos de concentración 1 hora de SO2 proyectados por el modelo de dispersión de contaminantes en estaciones del SVCAI. (Escenario 2 sin medidas de control, Concentración de fondo incluida).	117
Figura 7-74	Diagramas de cajas y bigotes para los datos de concentración 24 horas de SO2 proyectados por el modelo de dispersión de contaminantes en estaciones del SVCAI. (Escenario 2 sin medidas de control, Concentración de fondo incluida).	118
Figura 7-75	Calidad del Aire Proyectada NO2 1 Hora, Escenario 2.	120
Figura 7-76	Calidad del Aire Proyectada NO2 Promedio Anual, Escenario 2.....	121
Figura 7-77	Calidad del Aire Proyectada NO2 1 Hora percentil 50, Escenario 2.	122

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL LÍNEA ELÉCTRICA DE CONEXIÓN PARQUES EÓLICOS BETA Y ALPHA A SUBESTACIÓN CUESTECITAS	
Versión 2	Noviembre 2024	

Figura 7-78	Diagramas de cajas y bigotes para los datos de concentración 1 hora de NO ₂ proyectados por el modelo de dispersión de contaminantes en estaciones del SVCAI. (Escenario 2 sin medidas de control, Concentración de fondo incluida).	123
Figura 7-79	Calidad del Aire Proyectada CO 1 Hora, Escenario 2.	125
Figura 7-80	Calidad del Aire Proyectada CO 8 Horas, Escenario 2.	126
Figura 7-81	Calidad del Aire Proyectada CO 1 Hora percentil 50, Escenario 2.	127
Figura 7-82	Calidad del Aire Proyectada CO 8 Hora percentil 50, Escenario 2.	128
Figura 7-83	Diagramas de cajas y bigotes para los datos horarios de concentración de CO proyectados por el modelo de dispersión de contaminantes en estaciones del SVCAI. (Concentración de fondo incluida).	129
Figura 7-84	Diagramas de cajas y bigotes para los datos octorarios de concentración de CO proyectados por el modelo de dispersión de contaminantes en estaciones del SVCAI. (Concentración de fondo incluida).	130
Figura 7-85	Calidad del Aire Proyectada PM10 máximo diario, Escenario 3.	132
Figura 7-86	Calidad del Aire Proyectada PM10 Promedio Anual, Escenario 3.	133
Figura 7-87	Calidad del Aire PM10 proyectado percentil 50 de los datos diarios, Escenario 3.	134
Figura 7-88	Diagramas de cajas y bigotes para los datos de concentración 24 h de PM10 proyectados por el modelo de dispersión de contaminantes en estaciones del SVCAI. (Concentración de fondo incluida).	135
Figura 7-89	Calidad del Aire Proyectada PM2.5 máximo diario, Escenario 3.	137
Figura 7-90	Calidad del Aire Proyectada PM2.5 Promedio Anual, Escenario 3.	138
Figura 7-91	Calidad del Aire PM2.5 proyectado percentil 50 de los datos diarios, Escenario 3.	139
Figura 7-92	Diagramas de cajas y bigotes para los datos de concentración 24 h de PM 2,5 proyectados por el modelo de dispersión de contaminantes en estaciones del SVCAI. (Concentración de fondo incluida).	140
Figura 7-93	Modelo conceptual del AERMOD.	143
Figura 94	Valores de las variables características del uso del suelo utilizadas en el análisis de sensibilidad.	146
Figura 95	Valores de las variables características del uso del suelo utilizadas en el análisis de sensibilidad.	147
Figura 96	Variación de la concentración máxima proyectada a 24 horas por AERMOD en función de Rugosidad.	148
Figura 97	Variación de la concentración máxima proyectada promedio anual por AERMOD en función de Rugosidad.	149
Figura 98	Variación de la concentración máxima proyectada a 24 horas por AERMOD en función de Albedo.	150
Figura 99	Variación de la concentración máxima proyectada a promedio anual por AERMOD en función de Albedo.	151

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

A continuación, se presenta la demanda, uso, aprovechamiento y/o afectación de recursos naturales, necesarios para el desarrollo del proyecto Línea Eléctrica de Conexión Parques Eólicos Beta y Alpha a la Subestación Cuestecitas. De acuerdo con las obras y actividades del proyecto, descrito en el capítulo 3 (Descripción del proyecto), los recursos naturales que se requerirán para la ejecución de las actividades objeto de la presente solicitud y en cumplimiento de la normatividad ambiental vigente se resumen a continuación en la **Tabla 7-1**.

PERMISO A SOLICITAR	ACTIVIDAD
Concesión de aguas superficiales	No se requiere permiso de concesión de aguas superficiales. Durante las etapas del proyecto se gestionará la demanda de agua mediante terceros autorizados (que cuenten con los permisos y/o licencias ambientales vigentes) o a través de la recirculación del agua tratada de la PTAR (etapa de construcción).
Concesión de aguas subterráneas	No se requiere concesión de aguas subterráneas. Durante las etapas del proyecto se gestionará la demanda de agua mediante terceros autorizados (que cuenten con los permisos y/o licencias ambientales vigentes) o a través de la recirculación del agua tratada de la PTAR (etapa de construcción).
Vertimientos	No se requiere permiso de vertimientos. Durante todas las etapas del proyecto se gestionará el manejo de las aguas residuales domésticas y no domésticas a través de terceros autorizados (que cuenten con los permisos y/o licencias ambientales vigentes) o a través de recirculación del efluente de la PTAR (etapa de construcción).
Ocupaciones de cauce	Se requiere el permiso de ocupación de cauce en una franja de 100 m, asociado a las obras hidráulicas que permiten el ingreso a los frentes de obra a través de los accesos licenciados que cruzan cuerpos de agua naturales de tipo permanente e intermitente. En total se solicitan 92 ocupaciones de cauce para el proyecto.
Aprovechamiento forestal	Se solicita el aprovechamiento forestal de un volumen aproximado de 7.977,79m3 de madera.
Levantamiento de veda de flora silvestre (Vascular y no vascular)	Se solicita imposición de medidas de manejo para siete (7) especies vasculares y levantamiento de veda para 78 especies No vasculares.
Emisiones atmosféricas	No se requiere permiso de emisiones atmosféricas para la ejecución de las actividades del proyecto. Se presenta el modelo de emisiones atmosféricas.
Ruido	Se presenta el modelo de ruido
Materiales de construcción	Se requiere material de arrastre o cantera para la conformación de terraplenes para el derecho de vía, adecuación de las vías de acceso, material de afirmado y en las obras que involucran concreto.
Recolección de especímenes de especies silvestres de la biodiversidad	No aplica con base en la Circular Externa No. 0001 de 2022 de ANLA

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

A continuación, se presenta la caracterización de cada uno de los recursos naturales que demandará el proyecto y que serán utilizados, aprovechados y/o afectados durante las diferentes etapas de este.

7.8 EMISIONES ATMOSFÉRICAS

7.8.1 Alcances, premisas y suposiciones del modelo

7.8.1.1 Alcance

Predecir el impacto de la calidad del aire de la zona de estudio para el proyecto Línea eléctrica de conexión parques eólicos Beta y Alpha a subestación Cuestecitas mediante la elaboración de un modelo de calidad del aire en AERMOD View. Además, se verificará la eficacia de las medidas de manejo propuestas para el proyecto en cuanto a su efecto en la calidad del aire (Resolución 1402, 2018 del MADS).

7.8.1.2 Premisas

El inventario de emisiones se limitó únicamente a las fuentes fijas, lineales, móviles y de área existentes y proyectadas para la zona de estudio del proyecto *Línea eléctrica de conexión parques eólicos Beta y Alpha a subestación Cuestecitas*, tomando como insumo datos de monitoreo de calidad del aire tomados durante 18 días e información técnica suministrada por EDP RENEWABLES.

Las fuentes de emisiones externas al proyecto que fueron caracterizadas durante las campañas de monitoreo de calidad del aire se incluyen dentro del concepto de concentración de fondo “Background Concentration” incluido dentro del modelo de dispersión para los diferentes contaminantes.

Se reporta frecuencia operacional de las actividades de construcción con una escala de trabajo de 12 meses durante 8 horas diarias entre los lunes y sábado, distribuidas temporalmente de la siguiente manera:

Grupo de fuentes		Actividad para un Año de Modelación en el Escenario Constructivo											
Aermod	Cronograma del proyecto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
VIAS_BASE	Vías (Línea Base)												
	Transporte terrestre (Flota Vehicular del Proyecto)												
VIAS_AC	Adecuación de accesos del proyecto incluyendo actividades construcción que requieren de ocupación de cauce												
PATIOS_A	Construcción de patios de almacenamiento y campamentos												
TORRES	Torres 1												
	Torres 2												
	Torres 3												
	Torres 4												
	Torres 5												
	Torres 6												

Figura 7-1 Actividad de los grupos de fuentes de emisiones atmosféricas contempladas para el proyecto *Línea eléctrica de conexión parques eólicos Beta y Alpha a subestación Cuestecitas*

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

Nota1: Los subgrupos Torres 1 a Torres 6 corresponde a tramos de construcción de torres propuestos para efectos de modelación, dado que no se construirá la totalidad de torres en simultaneo

Nota2: Este cronograma es adaptado del cronograma establecido en el capítulo 3 del EIA “Descripción del Proyecto”, organizado de tal manera que atienda las necesidades del modelo teniendo en cuenta sus limitaciones y premisas.

Fuente: Resolución 2254 de 2017

Dado que la información meteorológica reportada por las estaciones del IDEAM (media mensual), no cumple con la escala temporal requerida por el modelo (reporte horario), se hizo necesario recurrir a los datos calculados por la información meteorológica predictiva WRF (horaria); por ende,

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL LÍNEA ELÉCTRICA DE CONEXIÓN PARQUES EÓLICOS BETA Y ALPHA A SUBESTACIÓN CUESTECITAS	
Versión 2	Noviembre 2024	

durante la elaboración del modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos se asume la incertidumbre asociada a este.

Dada la disponibilidad de información, el inventario de emisiones atmosféricas se limitó a los aportes de contaminantes criterio aportados por las fuentes de emisión que operarán en la etapa de construcción del proyecto *Línea eléctrica de conexión parques eólicos Beta y Alpha a subestación Cuestecitas*. El modelo no incluye: Fuentes de otras actividades industriales o comerciales que pueden estar presentes en el Área de Influencia de Proyecto, estas se adoptan mediante el concepto de concentración de fondo establecida para el modelo.

Se contemplan actividades de voladuras en el sector sur del proyecto. El tipo de explosivo contemplado para los cálculos es ANFO. En la parametrización, los eventos de voladura se concentran en un solo mes para maximizar la influencia de esta fuente en el modelo de emisiones. Lo anterior considerando que estas fuentes de emisión se activan en forma individual en tiempos de segundos y al distribuirse en periodos más largos no mostraron mayor afectación en términos de calidad del aire. En este sentido, la condición crítica es que existan muchas voladuras en periodos cortos de tiempo, situación que se busca emular mediante la suposición aquí expuesta.

En las actividades de voladuras se asume que las emisiones se generan en el lapso de una hora. Este valor se establece debido a que AERMOD permite modelar emisiones variables únicamente en intervalos mínimos de una hora.

Se contemplan obras menores asociadas a ocupación de cauce a lo largo de toda la línea de trazado de accesos a las áreas de torres del proyecto

Se contemplan operaciones para el transporte aéreo de materiales y personal de 40 viajes al día para un solo helicóptero Bell 212, distribuidos en los helipuertos definidos para el proyecto

La estimación de emisiones se realiza sobre información de las fuentes lineales a partir de factores de emisión por defecto reportadas por el AP 42 de la US EPA, considerando que se reportan datos de flota vehicular utilizada en el proyecto y estudios de tráfico.

7.8.1.3 Suposiciones

Existen fuentes industriales en el área de estudio. El aporte de dichas fuentes a la calidad del aire se estimó mediante la concentración de fondo, considerando que estas operan en fase previa al proyecto y se encontraban en operación durante la ejecución de la campaña de monitoreo de calidad del aire.

En los escenarios de construcción se adicionó la flota vehicular del proyecto a la flota línea base E1. Las flotas vehiculares promedio extraídas del estudio de tráfico se presentan en los anexos de modelación (3_Anexos\Cap. 07 Uso, demanda RRNN\7.8 Emisiones atmosféricas\Anexo 7.8-1 Aire\Anexo 1. Memorias de cálculo).

El flujo vehicular del proyecto se estima a partir de la flota de vehicular estimada según los vehículos listados en el capítulo 3 “Descripción del Proyecto”, según cantidades estipuladas en la subsección 3.2.3.1.2.12 Maquinaria, vehículos y equipos, sumando los diferentes vehículos para las etapas de construcción y/o adecuación accesos y construcción de la línea. Para efectos de simulación, la flota vehicular del proyecto se consideró un total de 54 vehículos distribuidos en diferentes categorías que pueden circular por vías principales y vías de acceso distribuidas en toda el área de influencia del proyecto con una distribución geográfica asociada a las fases del proyecto; sin embargo, no es correcto asumir que todos los vehículos estarán circulando permanentemente por todas las vías dentro del área de influencia del proyecto dado que las actividades pueden concentrarse en regiones particulares por periodos cortos de tiempo. Por otro lado, es importante asignar a las fuentes de emisión lineales a la totalidad de las vías, dado que, en efecto, es necesario representar

el impacto de las emisiones de la flota a través de todas las vías y accesos del proyecto. Por lo anterior se supuso que el 40% de los vehículos circulará efectivamente por todas las vías en forma permanente. Esta consideración supone una flota vehicular proporcional a la flota original y garantiza un TPD para el cual en cada vía circule la totalidad de las categorías y clases de vehículos proyectados para la ejecución del proyecto. En términos de impacto en el Tránsito Promedio Diario (TPD), este modelo resulta en un incremento de 22 vehículos/días distribuidos en toda la red vial, incluyendo vías de alto flujo y bajo flujo de toda la red, incluyendo vías principales y secundarias de acceso a torres. Nótese que, si el proyecto por su extensión tuviera 10 frentes de obra, se tendría una flota vehicular de $22 \times 10 = 220$ vehículos día, valor mayor al máximo número de vehículos diarios aportados por el proyecto 54 (Por un factor de 4 aproximadamente), caso en el cual, se estarían sobre estimando las emisiones por fuentes lineales asociadas a la flota vehicular del proyecto. Además, debe notarse que el según los estudios de tráfico de línea base, el TPD base máximo es de 9674 vehículos/día en vías principales (Tipo 1) y de 415 vehículos/día para vías tipo 2. Además, el TPD máximo base más la flota estimada de proyecto se ha asignado a todas las vías de acceso incluyendo aquellas clasificadas como tipo 7. Por lo anterior se considera que la flota vehicular parametrizada y asignada a las fuentes lineales del modelo cuentan con varios factores de seguridad que permitan evaluar el impacto de dichas fuentes sobre el AI del proyecto, sin supervalorar las emisiones.

Las vías seleccionadas para la simulación son aquellas que se encuentran dentro del área de influencia del proyecto de la *Línea eléctrica de conexión parques eólicos Beta y Alpha a subestación Cuestecitas* y se descartan los caminos pedestres.

Para las vías de acceso al proyecto pavimentadas y sin pavimentar se contemplaron velocidades de 50Km/h en escenario sin medidas de control, mientras que para el escenario con medidas de control se contemplaron velocidades de 30 Km/h en vías sin pavimentar. La maquinaria de construcción opera en horario laboral (8 horas día); sin embargo, en la práctica se espera que no estén operando un 100% de tiempo.

7.8.2 Marco legal

Dentro del contexto del presente estudio, es importante resaltar que las medidas de carácter técnico y administrativo a implementar en equipos y procesos que generan emisiones de contaminantes atmosféricos tienen como único fin preservar las propiedades de calidad del aire en términos de concentración de contaminantes. La **Tabla 7-2** presenta los límites máximos admisibles en concentración de contaminantes criterio en calidad del aire de acuerdo con los estándares establecidos en la Resolución 2254 de 2017 MADS.

Tabla 7-2 Límites máximos admisibles de concentración de contaminantes atmosféricos en calidad del aire, a condiciones de referencia (25 °C, 760 mm Hg)

CONTAMINANTE	LÍMITE NORMATIVO RES. 2254/17	
	NIVEL MÁXIMO PERMISIBLE	TIEMPO DE EXPOSICIÓN
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
PM ₁₀ (Material Particulado menor a 10 micras)	50	Anual
	75	24 horas
PM _{2.5} (Material Particulado menor a 2.5 micras)	25	Anual
	37	24 horas
SO ₂ (Dióxido de Azufre)	50	24 horas
	100	1 hora
NO ₂ (Dióxido de Nitrógeno)	60	Anual
	200	1 hora
CO (Monóxido de Carbono)	5000	8 horas
	35000	1 hora

FUENTE: RESOLUCIÓN 2254 DE 2017

En la resolución mencionada, también se establece la concentración a condiciones de referencia y el tiempo de exposición bajo los cuales se debe declarar por parte de las autoridades ambientales competentes los estados excepcionales de prevención, alerta y emergencia. (Ver **Tabla 7-3**).

Tabla 7-3 Límites máximos admisibles de concentración de contaminantes tóxicos en calidad del aire, a condiciones de referencia (25 °C, 760 mm Hg)

CONTAMINANTE	TIEMPO DE EXPOSICIÓN	ESTADOS EXCEPCIONALES		
		PREVENCIÓN (µg/m³)	ALERTA (µg/m³)	EMERGENCIA (µg/m³)
PM ₁₀	24 horas	155 - 254	255 - 354	>=355
PM _{2.5}	24 horas	38 - 55	56 - 15	>=151
SO ₂	1 horas	198 - 486	487 - 797	>= 798
NO ₂	1 hora	190 - 677	678 - 1.221	>= 1.222
CO	8 horas	10.820 - 14.254	14.255 - 17.688	>=17.689

FUENTE: RESOLUCIÓN 2254 DE 2017

La misma resolución 2254 de 2017 establece los límites máximos establecidos para exposición a contaminantes tóxicos los cuales son desde el enforque del presente informe son de interés para evaluar los impactos de calidad del aire por la evaporación mecánica, dados los riesgos de que se transfieran este tipo de contaminantes desde la fase líquida a la fase gaseosa.

Para el presente estudio, se toman como referencia o guía (sin que esto amerite su estricto cumplimiento) los aspectos relacionados con los modelos de dispersión de contaminantes según lo definido en el documento titulado “Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales”, adoptado por la Resolución 1402 de 2018.

7.8.3 Descripción del proceso

En el marco del proceso de licenciamiento, las actividades de construcción que pueden generar impactos en la calidad del aire son las siguientes: obras civiles para el montaje de torres de energía, obras menores que requieren ocupación de cauce, detonación de explosivos, movimiento de material y personal mediante vehículos terrestres y aéreos (helicópteros).

El proyecto Alpha-Beta Cuestecitas inicia en el municipio de Albania, pasando por el municipio de Maicao y finalizando en el municipio de Uribia, todos ubicados en el departamento de La Guajira.



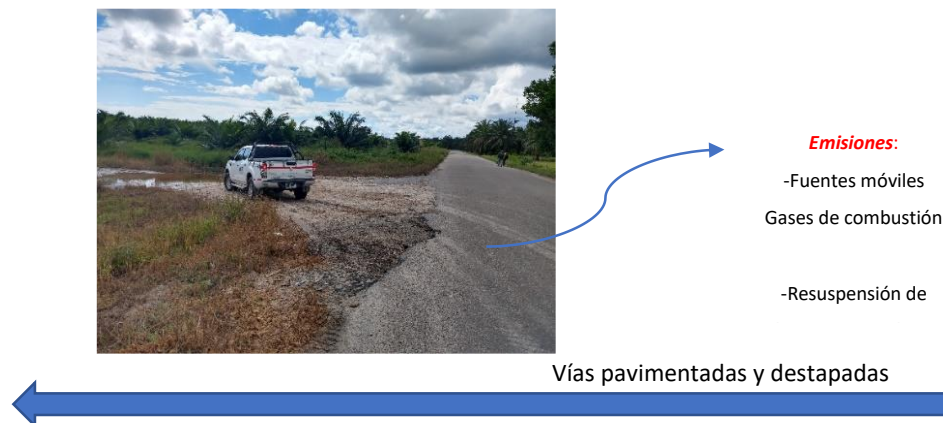


Figura 7-3 Esquema conceptual de las fuentes lineales existentes

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

En términos de la modelación de emisiones provenientes de las actividades de obra civil, las fuentes de emisión que alimentan el modelo de dispersión de contaminantes se expresan en términos de combinaciones de las siguientes operaciones:

- Desmante y Descapote; Excavaciones y Nivelación; Conformación de la base y sub-base – Representadas por los ítems, Manipulación de agregados, Scraper y Buldozing.
- Carga y descarga de los materiales representada mediante las operaciones de manipulación de agregados.
- Transporte de material, personas y equipos representada mediante la flota vehicular estimada para el proyecto.
- Operación de maquinaria amarilla en áreas de obra civil – mecánica y eléctrica.
- Movilización de flota vehicular utilizada en el transporte de materiales y agregados para y en el área de la obra.

7.8.3.2 Fuentes de emisión por desarrollo de actividad

Se consideran fuentes de emisión por obra civil del proyecto *Línea eléctrica de conexión parques eólicos Beta y Alpha a subestación Cuestecitas*:

Actividades de adecuación y construcción de las vías de acceso al proyecto: En estas se incluyen actividades de descapote, movimiento de material granular y operación de maquinaria amarilla con las siguientes características:

- Retroexcavadora de 158Kw
- Bulldozer de 140Hp
- Compactador de rodillo de 80Hp

Actividades de construcción y montaje de torres de energía: En estas se incluye movimiento de material granular y operación de maquinaria amarilla con las siguientes características:

- Bulldozer 140Hp
- Retroexcavadora 158Kw
- Mezcladora

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL LÍNEA ELÉCTRICA DE CONEXIÓN PARQUES EÓLICOS BETA Y ALPHA A SUBESTACIÓN CUESTECITAS	
Versión 2	Noviembre 2024	

- Compactador de rodillo de 80Hp
- Generador Diésel

Transporte de material y personal: En esta se incluye la flota vehicular del proyecto con las siguientes características

- 32 vehículos catalogados como automóviles
- 2 camiones pequeños de dos ejes
- 8 camiones grandes de dos ejes
- 12 camiones de 3-4 ejes

Actividades de voladuras

- 1 explosivo ANFO por cada torre contemplada para intervención.

Obras menores en la ocupación de cauce

- Bulldozer de 92Hp
- Retroexcavadora de 140 Hp

Transporte aéreo de materiales y personal

- Helicóptero Bell 212

7.8.3.3 ESCENARIOS DE MODELACIÓN

La simulación de dispersión de contaminantes asume tres escenarios:

- Escenario 1 (Escenario actual o línea base): Este escenario considera como único aporte las emisiones atmosféricas de las vías nacionales, municipales primarias, secundarias y terciarias utilizadas para ingreso y movilización dentro del área de influencia del proyecto. La carga contaminante aportada por otras fuentes presentes en el área de influencia cuyas emisiones no están identificadas y cuantificadas, son representadas mediante la concentración de fondo establecida a partir de datos del Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire Tipo Industrial implementado para la caracterización de línea base del proyecto.
- Escenario 2 (Escenario con proyecto, sin medidas de control): Este escenario implica el cumplimiento de un cronograma estimado donde se desarrollan las actividades de construcción y montaje del proyecto sin incluir prácticas que permitan disminuir las emisiones atmosféricas de las diferentes fuentes vinculadas al proyecto.
- Escenario 3 (Escenario con proyecto, con medidas de control): Este escenario implica el cumplimiento de un cronograma estimado donde se desarrollan las actividades de construcción y montaje del proyecto. El escenario implica prácticas operacionales que tienden a disminuir la carga contaminante entregada a la atmósfera, de tal forma que se mitigue el impacto sobre la calidad del aire.

La **Tabla 7-4** presenta un cronograma utilizado para el planteamiento de los escenarios 2 y 3.

Tabla 7-4 Descripción de los escenarios para modelar en AERMOD

ESCENARIOS PARA MODELAR	INSUMO	DESCRIPCIÓN
Escenario 1 (Escenario actual o Línea base sin proyecto).	• Inventario fuentes móviles. • Información cartográfica. • Estudios de calidad del aire reportados a partir del SVCA.	Se estimarán las emisiones por fuentes móviles basadas en el estudio de tráfico (aforos vehiculares) y las emisiones por re - suspensión identificadas en la red vial intermunicipal asociada al proyecto. Dichas emisiones contemplan: Re -suspensión de material particulado por tráfico vehicular en vías pavimentadas y destapadas. Emisiones de contaminantes criterios provenientes de flota vehicular que circula por la vía (Sin incluir futura flota del proyecto). El aporte a la calidad del aire de carga contaminante proveniente de fuentes no caracterizadas (dada la ausencia de inventarios de fuentes de emisión regionales), será simulada mediante la concentración de fondo determinada a partir de estudio de calidad del aire realizado durante la recolección de información de línea base del EIA. Es de aclarar que la determinación del inventario de emisiones atmosféricas regional para el área de estudio es una actividad que corresponde a la autoridad ambiental regional y se encuentra fuera del alcance del presente informe.
Escenario 2. Fase de construcción sin medidas de control.	Descripción del proyecto en términos de obras y actividades proyectadas.	En 12 meses se distribuyen las operaciones de las obras civiles para el proyecto, se resalta la limitación de Aermom para modelar periodos mayores a un año, por ende, se opta realizar dicha distribución de forma escalonada resultando en lo siguiente: Las fuentes fijas consideradas en la etapa de construcción del proyecto incluyen: Actividades de construcción y montaje de torres: estas se presentan para los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre. En estas se contemplan equipos de generación eléctrica y maquinaria amarilla, las cuales funcionan a partir de combustión interna, así como manipulación de agregados, material de corte, relleno en actividades de descapote y nivelación de terrenos destinados a construcción y montaje de torres de energía. Actividades de voladuras, las cuales se contemplan para el mes de enero y se desarrollan en la parte sur del proyecto. Descapote y nivelación de vías de acceso a torres, esta se presenta entre los meses de marzo a septiembre. En esta se contemplan actividad de maquinaria amarilla junto con la manipulación de agregados y material de corte. Inventario de fuentes móviles asociadas al transporte de personal y materiales del proyecto, este se contempla de forma acumulativa con el inventario de fuentes móviles de la línea base. Transporte de materiales por helicopuerto
Escenario 3. Fase de construcción con medidas de control.	Descripción del proyecto en términos de obras y actividades proyectadas	Escenario 2, simulando medidas para el control de emisiones. Los controles de emisiones incluyen: • Disminución de la velocidad de la flota vehicular del proyecto a 30 Km/h para las vías de acceso que se encuentran sin pavimentar. • Uso de geotextil para cubrimiento de material a granel durante el transporte.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL LÍNEA ELÉCTRICA DE CONEXIÓN PARQUES EÓLICOS BETA Y ALPHA A SUBESTACIÓN CUESTECITAS	
Versión 2	Noviembre 2024	

7.8.4 Metodología

A continuación, se presenta un breve resumen de las actividades realizadas y la secuencia metodológica implementada para el modelo de dispersión de contaminantes criterio, medidos en el proyecto de la *Línea eléctrica de conexión parques eólicos Beta y Alpha a subestación Cuestecitas*:

- Definición de tipo de instalaciones.
- Formulación de escenarios operativos.
- Elaboración de inventario de emisiones.
- Simulación datos meteorológicos de capa límite basado en datos meteorológicos WRF.
- Elaboración modelo de elevación digital.
- Determinación de receptores.
- Modelamiento de dispersión de contaminantes mediante modelo AERMOD en los tres escenarios planteados.
- Análisis de resultados.
- Elaboración de concepto técnico final.

7.8.4.1 Modelo de Dispersión

Para este proyecto, la modelación de contaminantes seguirá los siguientes lineamientos de acuerdo con la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales realizada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el 2018.

- Formulación del problema a resolver mediante la simulación
- Selección y validación de los datos de entrada
- Formalización del modelo matemático
- Análisis de sensibilidad de los resultados

Definición del dominio de modelación: El tamaño del dominio de modelación depende del tipo de fuente, de las emisiones másicas, del tipo de contaminante y del modelo seleccionado para llevar a cabo el estudio. Para elegir el tamaño del dominio de modelación se deben considerar:

- Las áreas donde los receptores sean sensibles a la dispersión.
- Otras fuentes de emisión que deban ser incluidas en la modelación, en la medida que éstas pueden contribuir a la concentración de fondo.

Simulación atmosférica de la dispersión de contaminantes: El objetivo de esta fase es identificar el comportamiento de los contaminantes en el dominio de modelación. Se deben modelar bajo los siguientes escenarios:

- Primer escenario: Línea base, sin proyecto (aplica en caso de contar con inventario de emisiones formal de la zona. Si no se posee inventario de emisiones, la línea base corresponderá a las concentraciones de los niveles de inmisión del monitoreo de calidad acorde a su cobertura espacial).
- Segundo escenario: Construcción del proyecto sin medidas de control.
- Tercer escenario: Construcción del proyecto con medidas de control.

Los tiempos que se manejaron para la modelación de cada escenario y para cada grupo de fuente se establecieron de la siguiente manera (**Tabla 7-5**):

Tabla 7-5 Tiempos estimados por grupo de fuentes de modelación según escenario

Grupo de fuentes	Meses de trabajo	Días a la semana de trabajo	Horarios de trabajo		Escenario		
			Desde	Hasta	E1	E2	E2CC
Vías	Continuo	Lunes a domingo	00:00	24:00	X	X	X
Construcción y montaje de torres	Intercalados cada mes durante los meses de mayo a octubre	Lunes a sábado	07:00	15:00		X	X
Adecuación de accesos	Durante los meses de marzo a septiembre	Lunes a sábado	07:00	15:00		x	x
Ocupación de cauce	Durante el mes de enero	Lunes a sábado	07:00	15:00		X	X
Voladuras	Durante el mes de enero	Miércoles	11:00	12:00		X	X

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

Para cada escenario se debe aplicar un modelo de dispersión en cuyo procedimiento contemple, como mínimo un análisis de los datos de entrada y de salida utilizados (anexar los archivos de entrada y de salida originales del modelo o software) y que describa el procedimiento utilizado y los criterios de selección y validación de la información de entrada. Se debe presentar información detallada de los parámetros requeridos para ejecutar la simulación, entre los cuales se encuentran:

Inventario y posible localización de todas las fuentes de emisión de material particulado que contempla el proyecto, las cuales deben ser incluidas como parte de los datos de entrada para alimentar la modelación (fuentes fijas que a su vez pueden ser dispersas, de área o puntuales, y fuentes móviles). A partir de los criterios adoptados internacionalmente para el análisis de emisiones, se deben estimar las emisiones de cada una de las fuentes del proyecto.

- Análisis de la información meteorológica utilizada por modelo WRF para dominio de modelación para el periodo 2020-2022.
- Información topográfica del área modelada, obtenida del modelo de elevación digital SRTM1/ SRTM3.
- Localización de los lugares o sitios de interés (receptores) sobre los cuales se debe enfocar el análisis del impacto atmosférico, reconocidos en campo durante campaña de monitoreo de calidad del aire.
- Información de calidad del aire utilizada para el análisis de las concentraciones de fondo.
- Validación de datos simulados: La validación de la modelación de contaminantes de AERMOD se realizará con base en los reportes de la literatura EPA.

7.8.4.2 Escala espacial de modelación

Las escalas espaciales de medición pueden ser globales, regionales, locales-globales o locales entre otras, dependiendo del alcance y magnitud de las emisiones y su relación con la atmósfera y sus condiciones.

Debido a la naturaleza de dispersión de los contaminantes emitidos por fuentes puntuales o fuentes móviles, su ubicación relativa a los municipios que comprende el polígono, se consideró una escala de modelación local. El dominio de modelación cubriría un cuadrado de 78 km x 78 km. Lo anterior con la finalidad de verificar el impacto que tendrían las emisiones en el área de influencia del proyecto, considerando los volúmenes de gases que emiten este tipo de actividad y la consecuente carga contaminante.

7.8.4.3 Escala temporal de modelación

La escala temporal de modelación depende del impacto esperado del fenómeno modelado y su duración en la atmósfera. De esta forma se define la modelación para una escala “*long term*” o de largo plazo y a mediano plazo, ya que los resultados de la simulación permitirán observar comportamientos periódicos, con duración de un año con objeto de estudiar la contaminación promedio en una zona.

Dada la aplicación de modelación, la resolución temporal se define de acuerdo con las concentraciones y tiempos de exposición definidos por las Resolución 2254 de 2017 del MADS. En la **Tabla 7-6** presenta los tiempos de ponderación estándares implementados durante la modelación para cada contaminante evaluado.

Tabla 7-6 Niveles máximos admisibles para evaluación de impactos de emisiones sobre calidad del aire

CONTAMINANTE	TIEMPO DE EXPOSICIÓN
PM ₁₀ (Material Particulado menor a 10 micras)	Anual
	24 horas
PM _{2.5} (Material Particulado menor a 2.5 micras)	Anual
	24 horas
SO ₂ (Dióxidos de Azufre)	24 horas
	1 hora
NO ₂ (Dióxidos de Nitrógeno)	Anual
	1 hora
CO (Monóxido de Carbono)	8 horas
	1 hora

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

7.8.4.4 Meteorología

La información meteorológica utilizada para la modelación de las condiciones de estabilidad atmosférica se tomó del modelo WRF “*Weather Research and Forecasting*”, esta es modelada por la firma Meteocolombia S.A.S. y validada para datos de las estaciones IDEAM reportadas para Colombia, empleando datos mensuales multianuales de temperatura (°C), precipitación (mm), humedad relativa (%), y nubosidad (octas), estas estaciones son:

Tabla 7-7 Estaciones meteorológicas IDEAM

ESTACIONES	ALTITUD (M)	DEPARTAMENTO	CATEGORÍA	VARIABLE CONSULTADA
ESCUELA AGRÍCOLA CARRAIPÍA - AUT [15085030]		La Guajira	Automática	Nubosidad, humedad relativa, temperatura
CUESTECITA [15060020]	93	La Guajira	Pluviométrica	Precipitación, días lluvia
Apto. Almirante Padilla [15065010]	4	La Guajira	–	Radiación

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

La información meteorológica obtenida por el modelo WRF en archivos SAM y UA se procesó con el software AERMET VIEW para obtener los archivos de datos PFL y SFC.

Para el cálculo de la rugosidad, el albedo y la relación de Bowen se determinó los usos de suelo en un cuadrante de cinco kilómetros a la redonda del punto de ubicación de la estación meteorológica para el cálculo de las variables Albedo y Bowen Ratio. En forma similar, para el cálculo de la rugosidad se define una circunferencia con cobertura de un kilómetro a la redonda de la ubicación de la estación meteorológica. Lo anterior de acuerdo con los procedimientos establecidos en AERMOD “Implementation Guide”.

Las coberturas de uso del suelo se definen con base en la información de coberturas determinada en el EIA del proyecto *Línea eléctrica de conexión parques eólicos Beta y Alpha a subestación Cuestecitas*, e información de coberturas disponible en el sistema de Información ambiental SIAC.

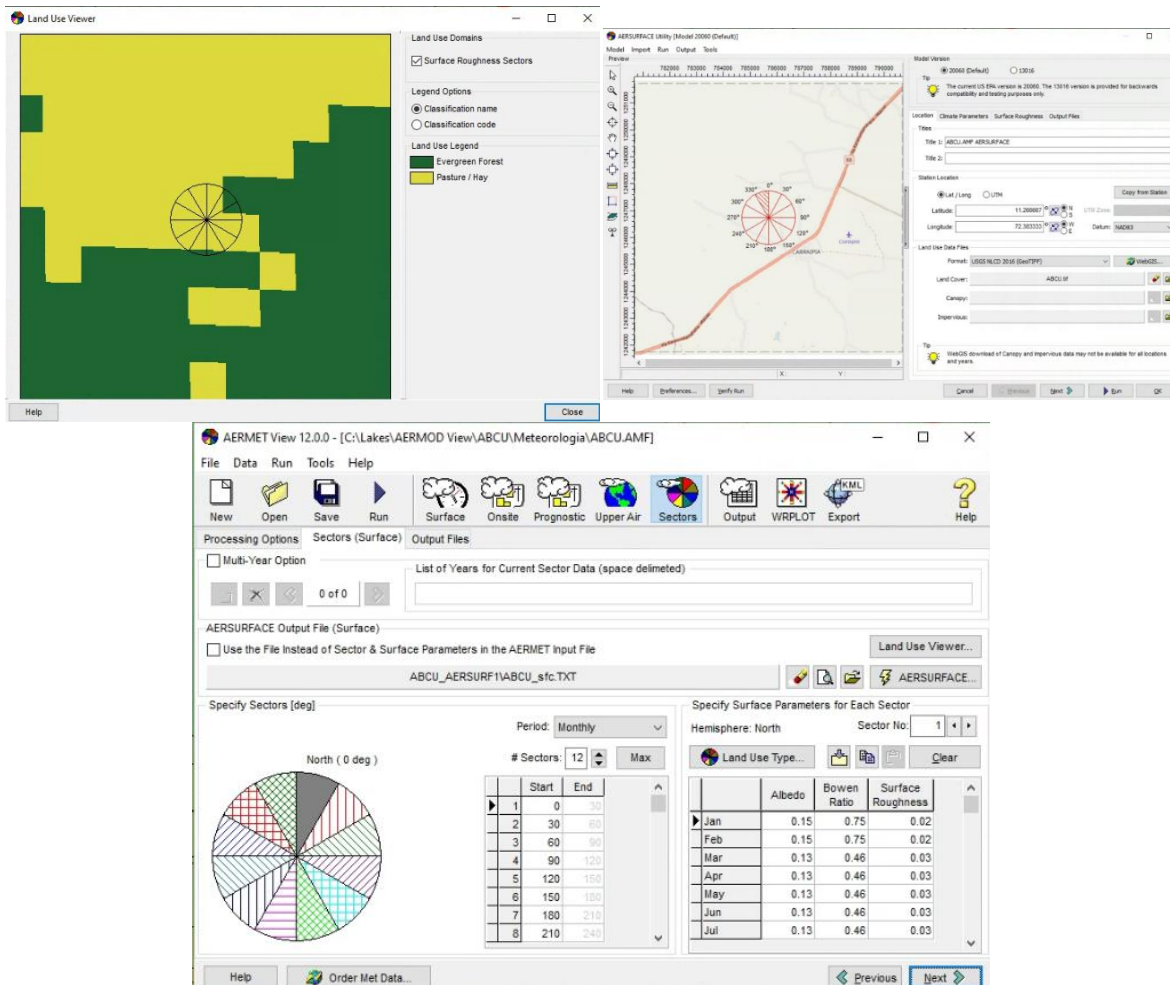


Figura 7-4 Esquema para definición de albedo, rugosidad y relación de Bowen durante el procesamiento de datos meteorológicos con AERMET.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

Los archivos meteorológicos obtenidos del modelo WRF post procesados mediante el software AERMET se presentan en 3_Anejos\Cap. 07 Uso, demanda RRNN\7.8 Emisiones atmosféricas\Anexo 7.8-1 Aire. La información relativa a la validación del modelo WRF implementado para Colombia reportada por el proveedor Meteocolombia S.A.S. se presenta en

3_Anexos\Cap. 07 Uso, demanda RRNN\7.8 Emisiones atmosféricas\Anexo 7.8-1 Aire. Las variables meteorológicas reportadas como resultado del modelo WRF en contraste con la información climatológica oficial seleccionada para la caracterización del clima del área de influencia del proyecto de la *Línea eléctrica de conexión parques eólicos Beta y Alpha a subestación Cuestecitas* se presenta en las secciones subsecuentes.

7.8.4.5 Temperatura

A continuación, se presenta la información meteorológica multianual consultada para la variable temperatura en las estaciones IDEAM cercanas al área de influencia del proyecto de la *Línea eléctrica de conexión parques eólicos Beta y Alpha a subestación Cuestecitas*, la cual es contrastada con los datos WRF empleados para el presente modelo.

La **Figura 7-5** muestra los valores medios mensuales multianuales de temperatura, según datos reportados por la estación meteorológica IDEAM descrita en la **Tabla 7-7** y en contraste se presenta la información predicha por el modelo WRF. La temperatura dentro de la zona del proyecto se encuentra alrededor de los 28°C, alcanzando valores máximos y mínimos de 36°C y 23°C en los meses de abril y enero respectivamente. En cuanto al modelo WRF, se puede observar un buen ajuste al comportamiento de los registros de temperaturas máximas, medias y mínimas de la estación meteorológica IDEAM consultada.

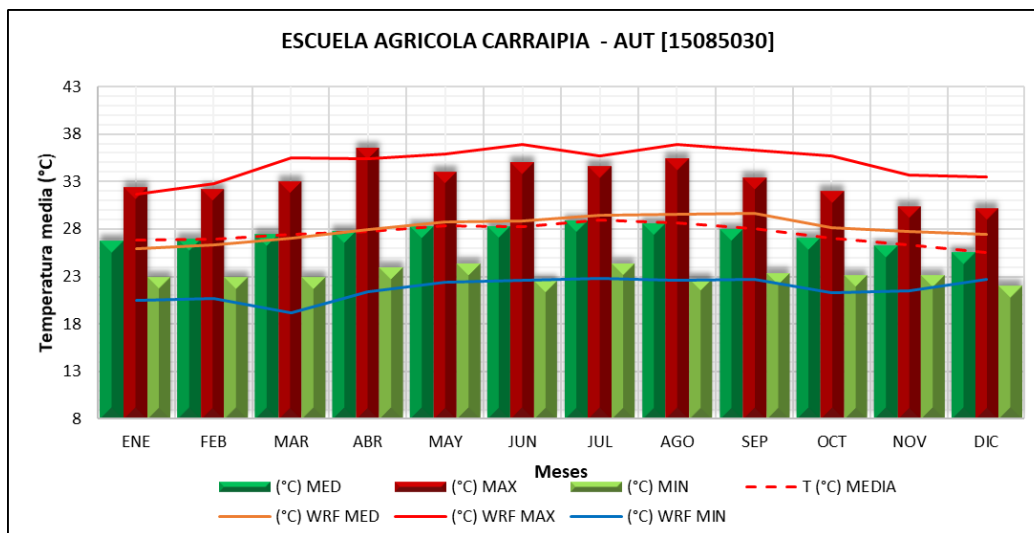


Figura 7-5 Temperaturas medias mensuales multianuales Escuela Agrícola Carraipia (IDEAM) y WRF
FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

7.8.4.6 Precipitación

La precipitación en términos del número de días con lluvia por mes se presenta en la **Figura 7-6**, según datos reportados por las cuatro estaciones utilizadas para la caracterización climática en el apartado de temperatura, y por el modelo WRF. En esta se observa una correspondencia adecuada, siendo los meses diciembre, enero y febrero los de menor días de lluvia, y abril–noviembre los de mayor precipitación media mensual multianual reportada por las estaciones descritas en la **Figura 7-7**; de las cuales se determina que durante todo el año hay ocurrencia de precipitaciones que pueden oscilar entre los 0 mm en el mes de enero y los 256mm en el mes de noviembre. El comportamiento de las gráficas de precipitación sugiere la presencia de una temporada de alta pluviosidad, la cual se define entre los periodos de marzo–noviembre. El comportamiento de la

precipitación se ajusta a un régimen unimodal caracterizado por la presencia de una temporada invernal. De acuerdo con los mismos datos, el número de días con lluvia en promedio multianual es de 59 días año. Las gráficas muestran además el contraste con la precipitación predicha por el modelo WRF, el cual se ajusta adecuadamente para la estación Cuestecita.

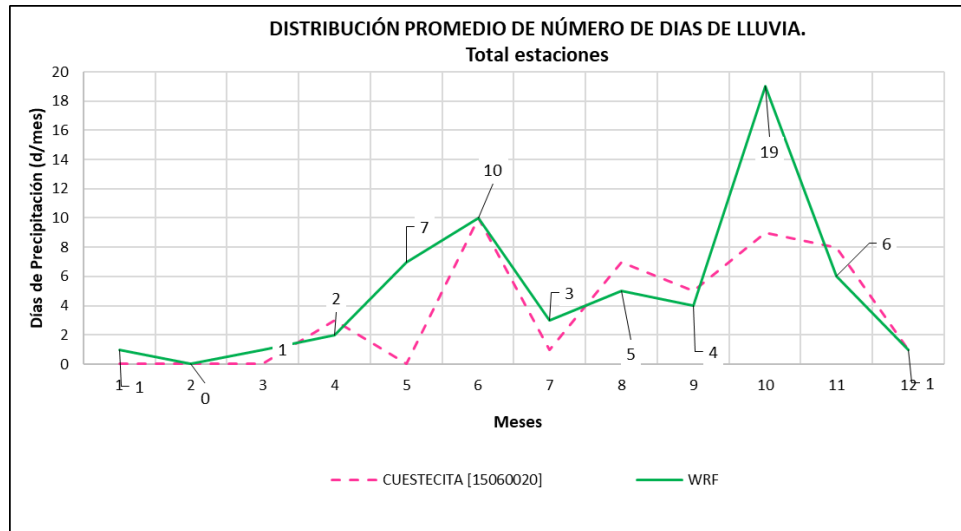


Figura 7-6 Número días con lluvia y WRF

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

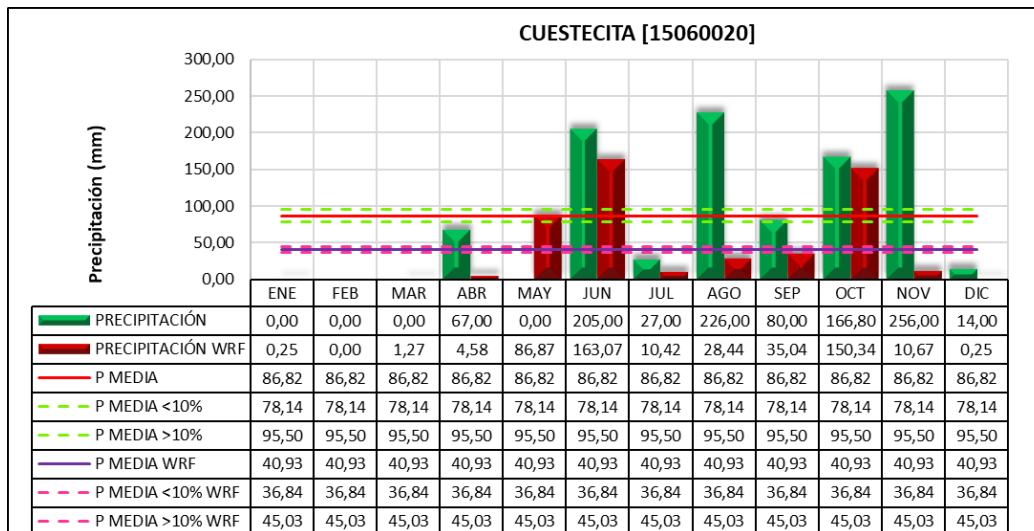


Figura 7-7 Precipitación media multianual estación Cuestecita.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

7.8.4.7 Altura de mezcla

El comportamiento de la baja atmósfera o capa de mezcla, donde discurren las emisiones de contaminantes procedentes de focos puntuales, está determinado por la capacidad de dispersión o dilución de los contaminantes. Esta capacidad es función de la turbulencia que, bien de origen térmico como mecánico, posibilita una mayor o menor dispersión. (A. Moragues, s.f.).

La **Figura 7-8**, presenta los valores medios horarios de altura de mezcla, estimados por el modelo WRF, y permite observar el comportamiento de dos fenómenos: La turbulencia mecánica (mezcla mecánica), que se encuentra en función de la velocidad del viento y de la rugosidad de la superficie, por lo cual presenta un carácter nocturno en donde las bajas temperaturas limitan el movimiento de las masas contaminantes y estas se mueven en gran medida debido a los factores anteriormente mencionados, ocurre durante el rango de horas de 1:00–6:00 am alcanzando los 439 m y 7:00 am – 6:00 pm con una altura máxima de 1007 m. La altura de mezcla mecánica se encuentra presente a lo largo de todo el rango horario; esto se debe a que una parte de los residuos o emisiones no llegan a ascender más de unos cuantos centenares de metros.

Por otra parte, se encuentra la turbulencia térmica (mezcla convectiva), que es causada por el calentamiento del aire al nivel del suelo, lo que enfatiza en la dependencia de la altura de la capa de mezcla con la actividad solar, pues en los horarios diurnos comprendidos en el rango de 7:00 am a 6:00 pm, se observa un gran crecimiento o elevación, desde los 277 m a un máximo de 1397 m y un posterior decrecimiento por la ausencia del aporte energético del sol. Naturalmente, los fenómenos de contaminación atmosférica serán más factibles en horario nocturno o dada la ausencia de turbulencia en la atmosfera con la consecuente reducción de la altura de mezcla; situación que presupone un menor volumen de aire para que se dé la dispersión de los contaminantes atmosféricos.

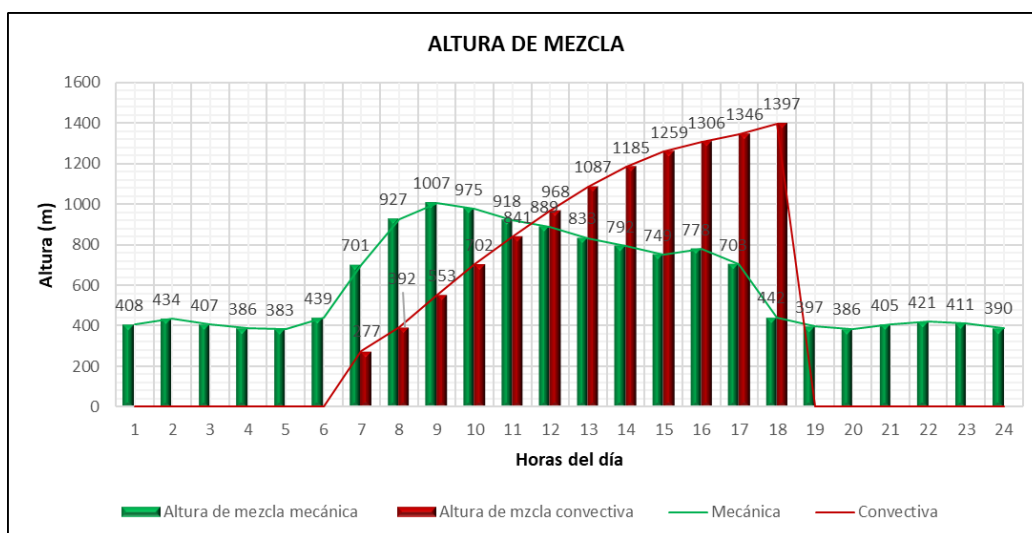


Figura 7-8 Altura de Mezcla.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

7.8.4.8 Radiación solar

La radiación solar incide en el intercambio de calor de diferentes componentes del sistema climático con la atmósfera y como consecuencia de esto determina condiciones convectivas que definen la presencia de fenómenos turbulentos, los cuales facilitan la dispersión de los contaminantes atmosféricos. La **Figura 7-9** presenta los datos de radiación solar media diaria mensual multianual para el área de estudio de la *Línea eléctrica de conexión parques eólicos Beta y Alpha a subestación Cuestecitas*, en esta se observa que, si bien el modelo WRF presenta un comportamiento gráfico similar, sobrestima ligeramente los valores, esto se debe a que la proyección del parámetro de nubosidad es errada, y al considerar un cielo en su mayoría despejado implica mayor exposición a los rayos solares.

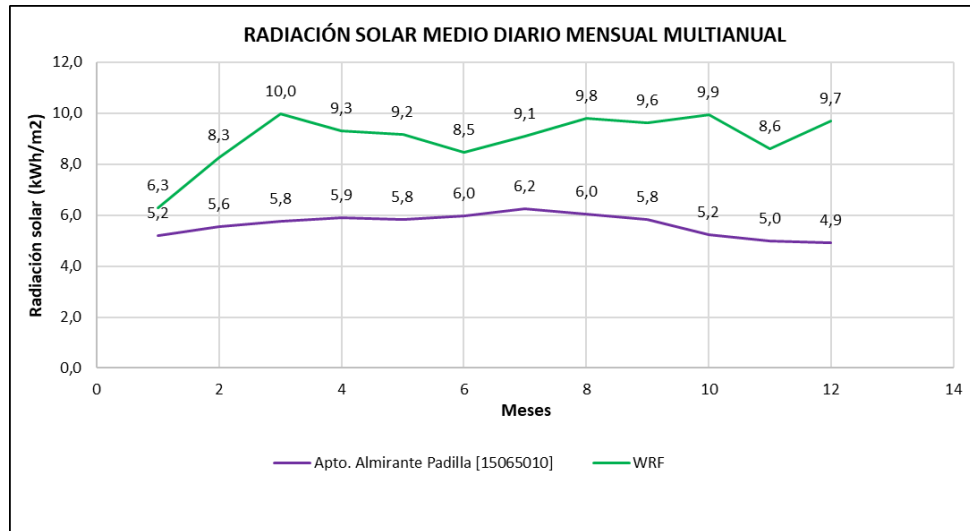


Figura 7-9 Radiación solar promedio mensual multianual estaciones IDEAM y WRF.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

7.8.4.9 Humedad relativa

La humedad relativa es el porcentaje de humedad que contiene el aire con respecto al total que es capaz de contener en función de su temperatura y su presión. En otras palabras, humedad relativa es la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua que tiene el aire y el máximo que podría contener a una temperatura y presión determinada.

En la **Figura 7-10** se observan valores medios de 68% hasta 81% a lo largo del año, con valores máximos de 100% y valores mínimos de 28%. Por otra parte, los valores obtenidos por WRF se ajustan al comportamiento promedio medido por las estaciones meteorológicas ya que sus valores son medianamente cercanos a los valores reportados en las fuentes oficiales (IDEAM).

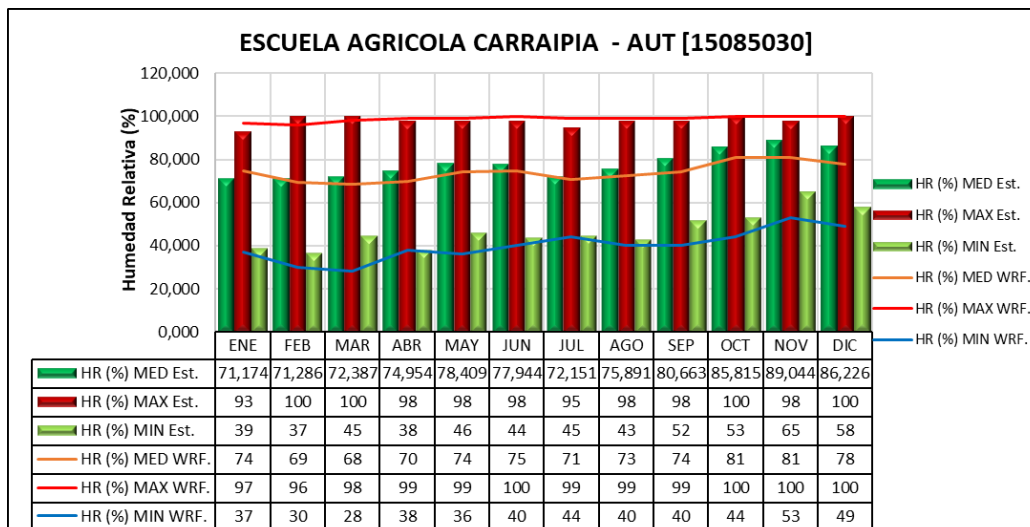


Figura 7-10 Humedad relativa promedio mensual multianual estación Escuela Agrícola Carraipía (IDEAM) y WRF

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

7.8.4.10 Nubosidad

La nubosidad en el *Proyecto Línea eléctrica de conexión parque Beta y Alpha a Subestación Cuestecitas* de acuerdo con los datos registrados por las estaciones IDEAM, tiene una distribución bimodal, con valores medios mensuales 2/8 para las estaciones “Escuela Agrícola Carraipia”, indicativo de la predominancia de un cielo poco nublado.

Por otra parte, aunque la nubosidad es un parámetro climáticamente esencial a menudo es complejo determinarlo mediante modelos, debido a que estas mediciones suelen ser subjetivas. El modelo WRF no se ajusta a ninguno de los comportamientos registrados por las estaciones IDEAM.

7.8.4.11 Viento

Las siguientes figuras, muestran las “rosas de vientos” correspondientes a la media anual, y a los horarios diurnos y nocturnos; allí se identifican las distribuciones de las velocidades de los vientos y las direcciones predominantes, en el *Proyecto Línea eléctrica de conexión parque Beta y Alpha a Subestación Cuestecitas*. De igual manera se presentan las gráficas de distribución de frecuencias de velocidades para el año 2022 reportadas por el modelo WRF.

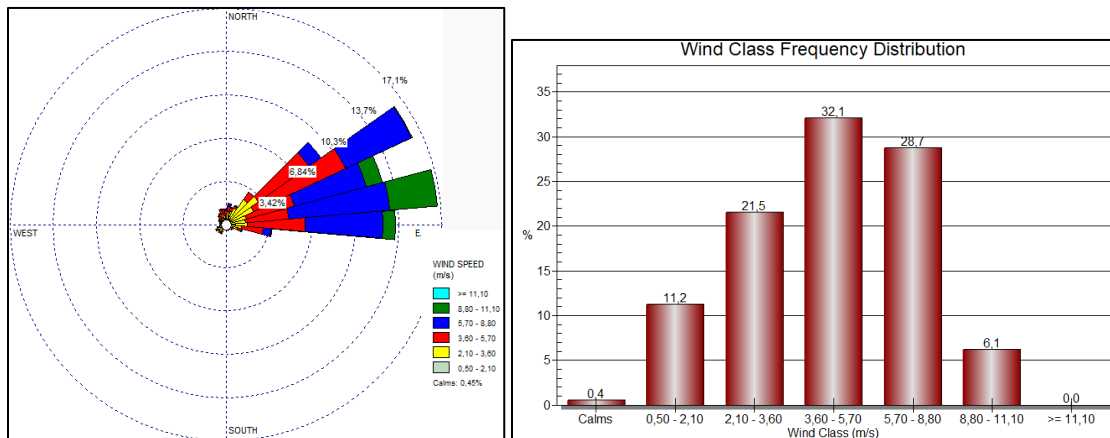


Figura 7-11 Rosa de vientos media anual (2023) – Histograma de distribución de frecuencia de velocidad del viento promedio multianual.
FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

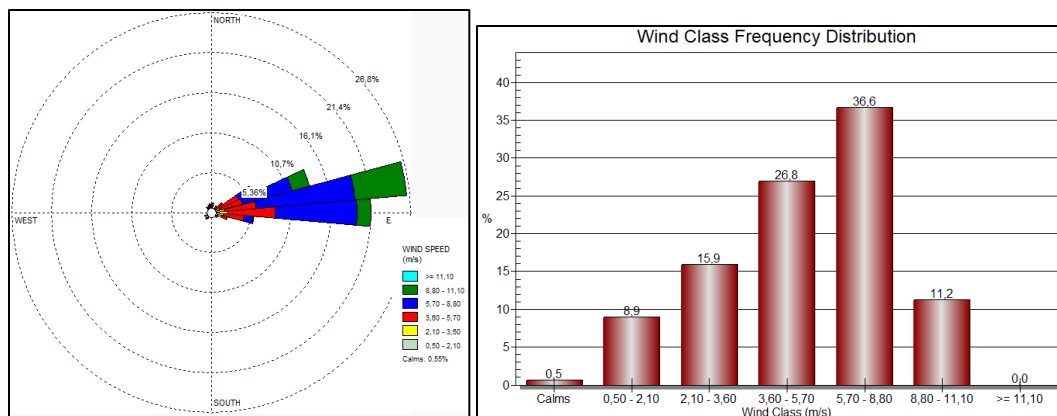


Figura 7-12 Rosa de vientos promedio periodo -2023 diurna (6:00 -18:00) – Histograma de distribución de frecuencia de velocidad del viento promedio diurno (6:00 -18:00)
FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

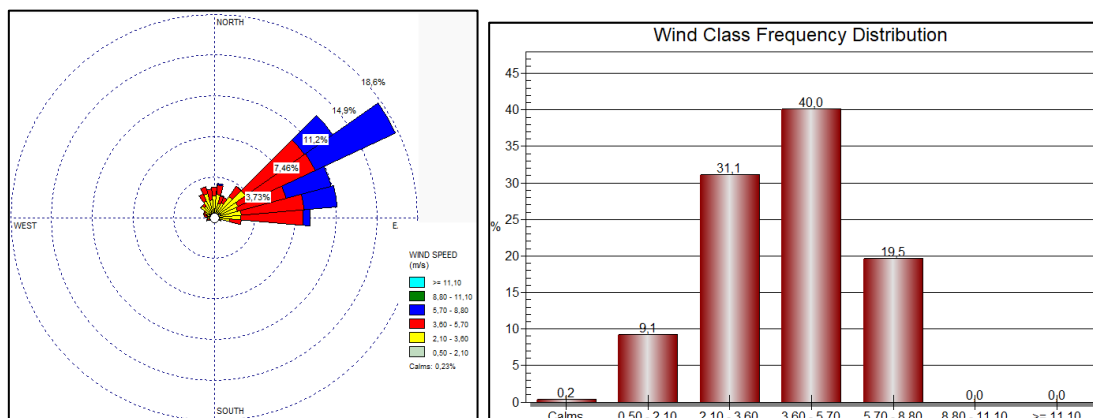


Figura 7-13 Rosa de vientos promedio periodo 2022-2023 nocturna (18:00 -24:00) – Histograma de distribución de frecuencia de velocidad del viento promedio nocturno (18:00-24:00)

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

Como se puede observar en la **Figura 7-11** las direcciones predominantes de los vientos para la estación Rioacha son el Noroeste, con una distribución de velocidades del 32.7% para los rangos de 3.60-5.70 m/s, 28.7% de 5.70-8.80 m/s, 21.5% de 2.10-3.60, 11.2% de 0.5-2.10, 6.1% de 8.80-11.10 y 0.4% correspondiendo el porcentaje de calmas.

Por otra parte, mediante la simulación de meteorología de superficie se estimaron las rosas de viento diurnas y nocturnas de carácter anual (1 año), estas pueden observarse en la **Figura 7-12** respectivamente, obtenida mediante el modelo meteorológico WRF.

Para el caso del periodo diurno se evidencia una predominancia de la dirección del viento en los sentidos Noroeste desde los 0,50 m/s a 11,10 m/s en un 8,9%. En el caso del periodo nocturno se evidencia una predominancia del viento en direcciones Noroeste desde los 0,50 m/s a 8,80 m/s en un 16,5%.

7.8.4.12 Estabilidad atmosférica

Las categorías de estabilidad son indicadores de turbulencia atmosféricos. La turbulencia de la atmósfera se caracteriza con base a un parámetro que se denomina "clase de estabilidad", que es función de la turbulencia térmica y de la turbulencia mecánica. Las categorías de estabilidad en cualquier momento van a depender entonces de:

- Estabilidad estática (relacionada al cambio de la temperatura con la altura).
- Turbulencia térmica (causada por el calentamiento del aire a nivel del suelo).
- Turbulencia mecánica (una función de la velocidad del viento y la rugosidad de la superficie).

La categoría de estabilidad atmosférica es un indicador de la turbulencia presente en la atmósfera, y en consecuencia un indicador de la capacidad atmosférica de dispersar los contaminantes. Las categorías de estabilidad de Pasquill- Gifford son típicamente utilizadas para caracterizar la estabilidad atmosférica en un lugar dado y está definida en función de la radiación solar incidente, la velocidad media del viento y de la nubosidad (Moragues, Clasificación de estabilidad, 2010).

Se identifican 5 tipos de estabilidad atmosférica según las categorías de Pasquill Gifford, que se calculan en función de la información meteorológica de temperatura, dirección y velocidad de viento y radiación solar. Para condiciones de atmósfera inestable 2 las clases de estabilidad pueden ser A, B o C, para condiciones neutras D, y para condiciones estables pueden ser E o F. Para

cielos parcial o totalmente cubiertos, tanto de día deben considerarse la clase de estabilidad D; mientras que para la noche deberías considerarse las categorías E y F.

Tabla 7-8 Categorías de estabilidad atmosférica

Día	A: muy inestable B: inestable C: ligeramente inestable
Día/noche	D: Neutra E: ligeramente estable
Noche	F: estable

Fuente: Moragues, 2000

Se clasifican las estabilidades con base a las observaciones efectuadas en las estaciones completas del Servicio Meteorológico Nacional, fundándose en que la estabilidad cerca del suelo depende esencialmente de la radiación solar neta y de la velocidad del viento.

Tabla 7-9 Tipos de estelas según estabilidad atmosférica

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
A "Cirriforme"	Extremadamente inestable: es un flujo turbulento en forma de rizo. En este caso la atmósfera es muy inestable y por la tarde es posible la formación de núcleos tormentosos, pero siempre que la atmósfera esté lo suficientemente húmeda.
B "Coniforme"	Moderadamente inestable: se presenta en situaciones meteorológicas de moderada o débil inestabilidad.
C "Liso"	Ligeramente inestable: no existen corrientes verticales y el flujo es laminar
D "Ascendente"	Neutral: la turbulencia sólo se desarrolla a cierta altura. Es un movimiento muy característico a la hora de la puesta del sol.
E "Descendente"	Ligeramente estable: existe una gran estabilidad que hace descender el humo. Cuando la atmósfera presenta esta característica son muy apropiadas las labores de fumigación en los campos.
F "Calma"	Moderadamente estable: el humo de la chimenea sube verticalmente, se trata de ausencia total de viento y las condiciones para la operación de los aerogeneradores son muy desfavorables.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

Como criterio de análisis de la frecuencia con la que se podrían observar las categorías de estabilidad atmosférica se toma como referencia la Longitud de Monin-Obukhov L . dicha variable define como un módulo que contiene parámetros que definen con mayor representatividad los fenómenos mecánicos, a través de u^* , y térmicos, mediante el denominado flujo vertical de calor, H_s . Siendo ρ_a y C_p la densidad y calor específico del aire y κ la constante de Von Karman.

$$L = - \frac{p C_p T u^{*3}}{kg H_s}$$

El flujo vertical de calor se obtiene mediante un balance de energía en el suelo, considerando positiva la energía recibida del exterior y negativa la emitida.

$$HH_{ss} = 0.4(SS - 100)$$

GOLDER 1972 demostró la relación existente entre el inverso de la longitud de Monin Obukhov con las categorías de estabilidad de Pasquill Gifford. Para el análisis de estabilidad atmosférica mediante este criterio se define un valor Z_0 (longitud de rugosidad) a partir de los datos calculados

por la aplicación AERMET tomando como base información predicha por el modelo WRF los tipos de cobertura del terreno. Para el caso en estudio se estima un valor de $z_0=0,26$. Dicho valor permite clasificar el terreno como “muy rugoso”, de acuerdo con datos experimentales reportados por Weiringa (1993) donde se clasifican los terrenos aerodinámicamente en término de la longitud de rugosidad z_0 y el coeficiente de arrastre C_{DN} (Santana, 2011). La tabla a continuación presenta la clasificación del terreno en función de la longitud de rugosidad indicada por los autores citados.

Tabla 7-10 Clasificación del terreno y el valor z_0

z_0 (m)	Clasificación	Descripción del terreno	C_{DN}
≤ 0.0002	Mar	Agua en calma, llanuras nevadas	0.0014
0.005	Liso	Campos nevados	0.0028
0.03	Abierto	Terreno abierto y llano, hierba, algunos obstáculos aislados: $x/H \geq 50$	0.0047
0.1	Abierto rugoso	Cultivos bajos, grandes obstáculos ocasionales: $50 < x/H < 20$	0.0075
0.25	Rugoso	Cultivos altos, obstáculos dispersos: $20 < x/H < 15$	0.012
0.5	Muy rugoso	Parques, matorrales, obstáculos numerosos: $15 < x/H < 10$	0.018
1	Cerrado	Densa cobertura regular de obstáculos: bosques $x/H < 4$	0.030
≥ 2	Caótico	Bosques irregulares con claros	0.062

Fuente: Weiringa (1993)

Luego de tener el valor de z_0 , se establecen los rangos de la variable $1/L \text{ m}^{-1}$ que está en función de las categorías de estabilidad de Pasquill y z_0 :

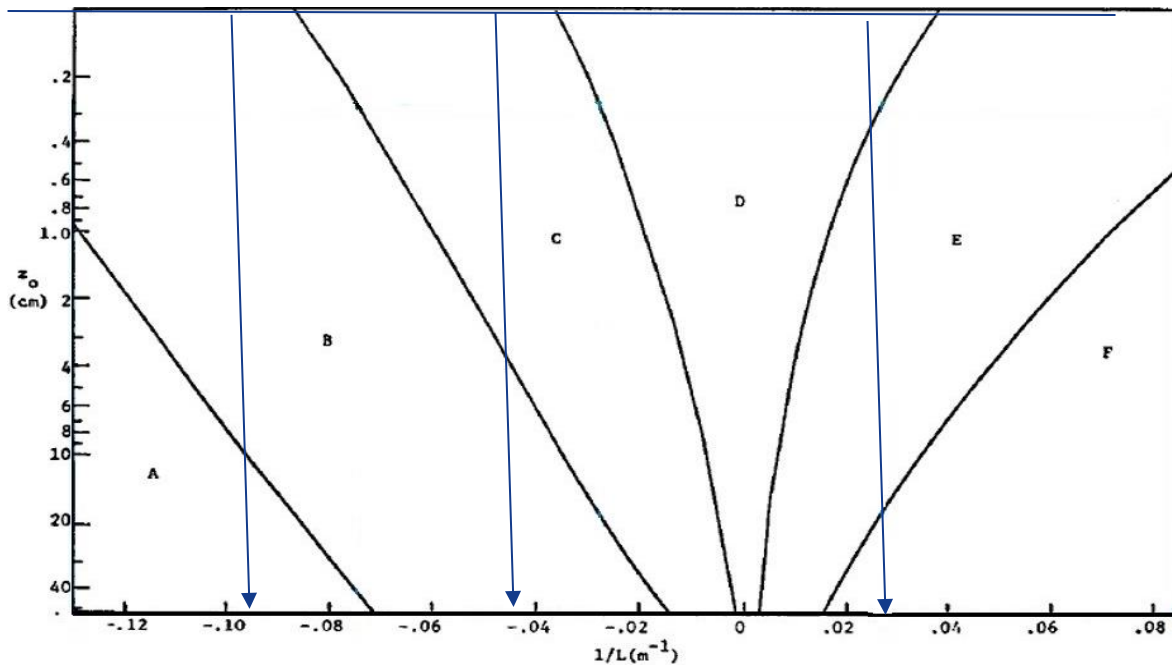


Figura 7-14 Definición de los rangos de la variable $1/L \text{ m}^{-1}$ en función de z_0 y las categorías

Fuente: Golder (1972).

La **Tabla 7-9** presenta las categorías de estabilidad atmosférica esperable en función de la hora del día determinadas a partir del cálculo por AERMET. La **Figura 7-15** presenta el histograma de frecuencias de categorías de estabilidad atmosférica durante el año de la simulación. Se espera que una condición en la que la atmosfera sea estable y ligeramente estable (condiciones menos

favorables en términos de dispersión) solo se presentaría en el 6,21% y el 39,99% de los casos respectivamente, correspondiente principalmente a la franja nocturna. Las mejores condiciones de dispersión, que se pueden esperar en atmosferas muy inestables (A) se presentarán en el ciclo indicado en la **Figura 7-16** y se presentan en 39,74% de los casos respectivamente. En el 14,06% de los casos se presentan condiciones de atmosfera neutra.

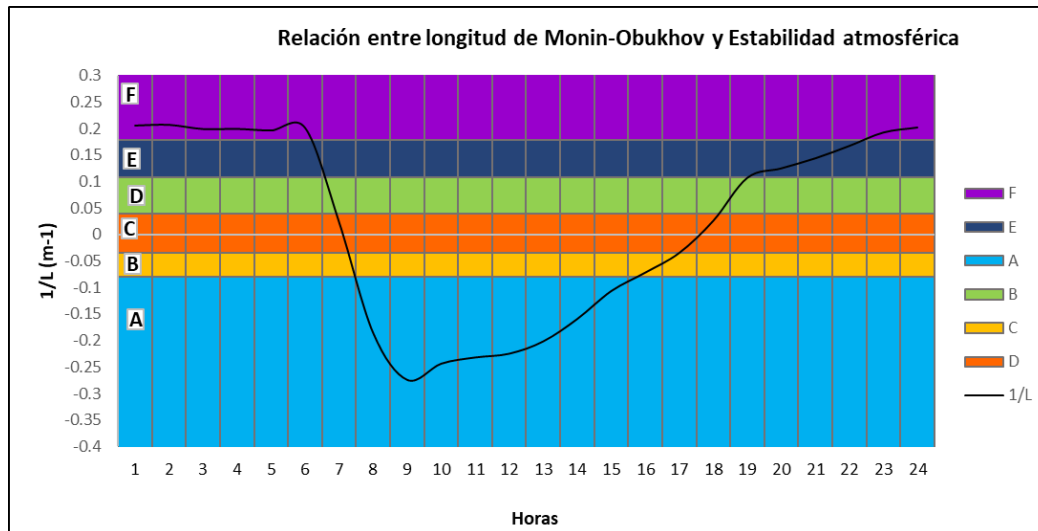


Figura 7-15 Relación longitud de Monin-Obukhov y estabilidad atmosférica según Golder

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

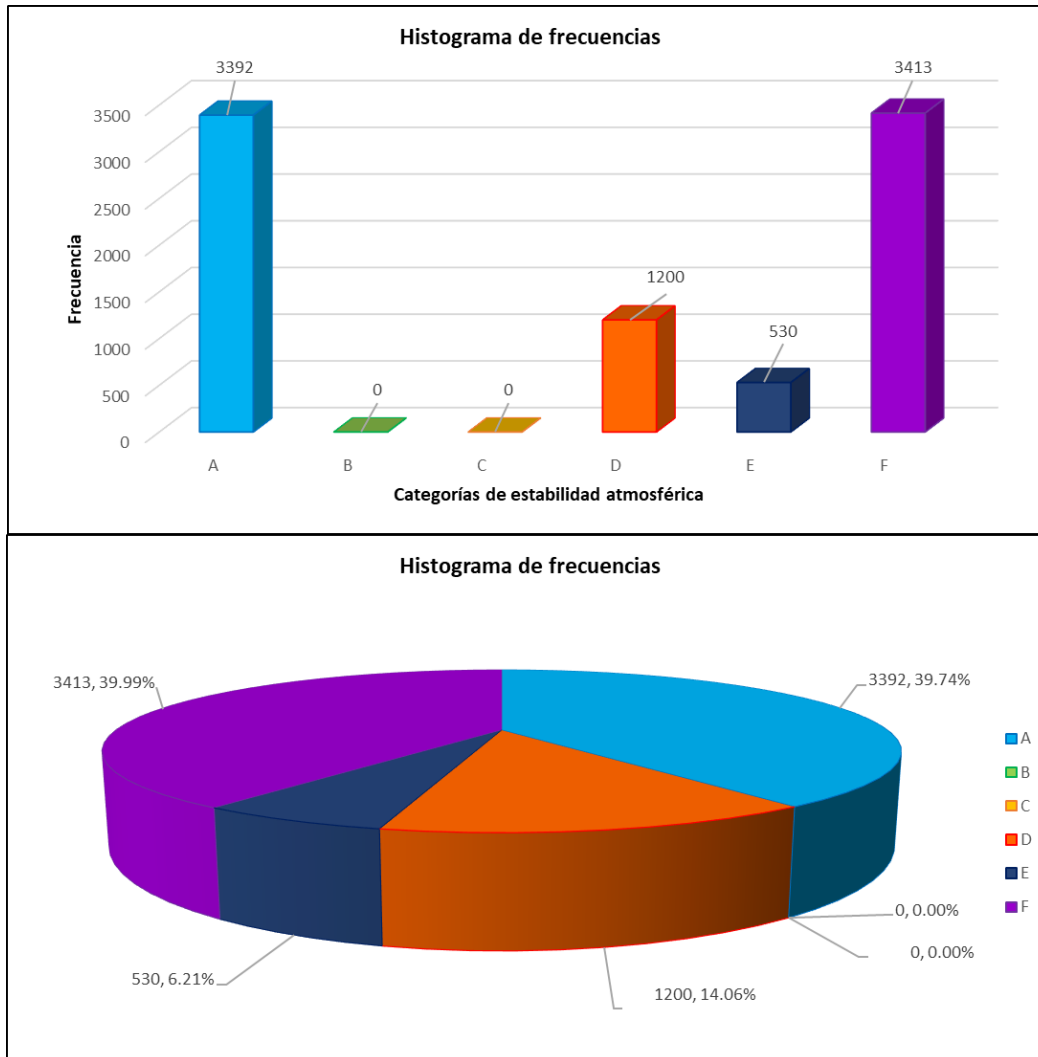


Figura 7-16 Histograma de frecuencias para categorías de estabilidad atmosférica

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

7.8.5 Tipo de modelo

A continuación, se realiza una breve discusión de las bases conceptuales del modelo de campana Gaussiana y el sistema de simulación AERMOD, el cual fue implementado para el desarrollo de la simulación de dispersión de contaminantes objeto del presente EIA.

7.8.5.1 Modelo de campana Gaussiana

El modelo implementado por AERMOD, es el modelo de campana Gaussiana y se basa en una pluma que se eleva a una altura adicional a h (la de la fuente emisora) como consecuencia del principio en el cual los gases más calientes se elevan, además del propio movimiento vertical que tienen cuando salen de la chimenea; así que la altura efectiva de la chimenea es $H = h + \Delta h$, en donde Δh expresa la elevación de la pluma.

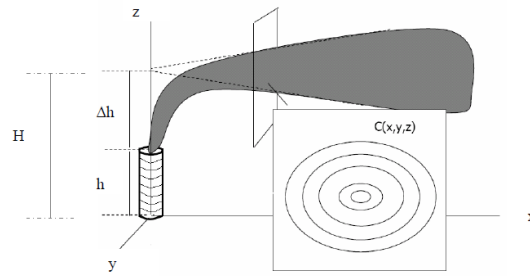


Figura 7-17 Modelo de dispersión Gaussiano con la fuente virtual a una altura efectiva, H, de la chimenea.

Fuente: Arzate (2004) Geocol Consultores S.A., 2024

Las hipótesis sobre las cuales se basa la formulación matemática son:

- Desarrollo del modelo para un estado estacionario.
- La difusión de masa es despreciable en la dirección del eje x.
- La velocidad del viento u se considera constante ya que las variaciones de ésta en los tres ejes coordenados son muy pequeñas y se puede despreciar.
- La fuente puntual se localiza en $x = 0$ y a la altura efectiva de chimenea H.

La formulación matemática para el caso en cual los contaminantes emanan a la altura de la chimenea considerando el efecto de reflexión del suelo, se describe a continuación:

$$C = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{\sigma_y^2}\right] \left[\exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right]$$

La expresión más reducida del modelo de dispersión gaussiana corresponda al nivel del suelo:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi x (\sigma_y \sigma_z)^{1/2}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right) \right]$$

Donde:

C: Concentración del contaminante en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Q: Emisión de gas en g/s

z: Distancia en el eje z en m

y: Distancia en el eje y en m

h: Altura de la chimenea en m

H: Altura efectiva de la chimenea en m

σ_y, σ_z : Desviaciones normales horizontal y vertical respectivamente. (Arzate 2004).

Los modelos de campana Gaussiana son útiles en simulación de fenómenos de dispersión a escala local y a escala regional en procesos atmosféricos de microescala y meso escala en aplicaciones para estudios de evaluación de impacto ambiental y estudios de contaminación atmosférica industrial (Torres, 2008).

La representatividad temporal del modelo Gaussiano se mejora por la ponderación de los resultados de múltiples campanas Gaussianas en periodos cortos de tiempo (1 hora) los cuales se constituyen como base del Software para calcular medias a diferentes tiempos de ponderación. Se supone que las condiciones meteorológicas se mantienen constantes durante la dispersión de la fuente al receptor, que es efectivamente instantánea.

Las emisiones y las condiciones meteorológicas pueden variar de una hora a otra, pero los cálculos de los modelos en cada hora son independientes. Debido a esta derivación matemática, es común referirse a modelos de Gauss – Plume como modelos de dispersión de estado estacionario. En la práctica, sin embargo, las características de la pluma cambian con el tiempo, ya que dependen de las emisiones y el cambio de las condiciones meteorológicas. Una consecuencia de la formulación de pluma es que cada hora el penacho se extiende instantáneamente hasta el infinito. La sección subsecuente presenta el esquema conceptual del sistema de modelación AERMOD, basado en un modelo de Campana Gaussiana estacionario.

7.8.5.2 AERMOD

AERMOD es un modelo de pluma de estado estacionario. En la capa límite estable (SBL), asume que la distribución de concentración se ajusta a una campana gaussiana tanto en eje vertical como en el eje horizontal. En la capa límite convectiva (CBL), también se supone que la distribución de concentración sobre el eje horizontal es gaussiana, pero la distribución vertical se describe con una función de densidad de probabilidad bi-gaussiana. Además, en la CBL, AERMOD trata el "desvanecimiento de la pluma", mediante el cual una porción de la masa de penacho, liberada de una fuente cuyos gases tienen flotabilidad, se elevan y permanecen cerca en la parte superior de la capa límite antes de mezclarse dentro de la capa límite convectiva CBL. AERMOD también rastrea cualquier masa de penacho que penetra en la capa estable elevada y luego le permite volver a entrar en la capa límite cuando sea apropiado. AERMOD incorpora conceptos actuales sobre flujo y dispersión en terrenos complejos.

Donde sea apropiado, el penacho se modela como impactante y / o siguiendo el terreno. Este enfoque ha sido diseñado para ser físicamente realista y simple de implementar, evitando la necesidad de distinguir entre terreno simple, elevado y terreno complejo, como lo requieren otros modelos regulatorios. Como resultado, AERMOD elimina la necesidad de definir regímenes complejos del terreno. Todo el terreno se maneja de manera consistente y continua mientras considera el concepto de línea divisoria (Snyder et al. 1985). (U.S. Environmental Protection Agency, 2004). A continuación se muestra el flujo y el procesamiento de la información en AERMOD.

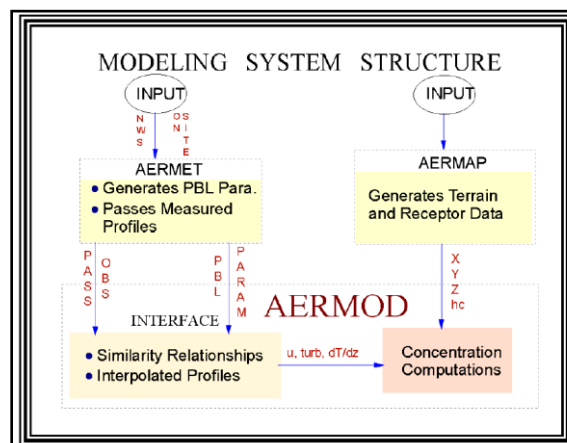


Figura 7-18

Esquema de flujo de información utilizado por el sistema AERMOD.

Fuente: Gestión y Medio Ambiente S.A.S (2024)

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL LÍNEA ELÉCTRICA DE CONEXIÓN PARQUES EÓLICOS BETA Y ALPHA A SUBESTACIÓN CUESTECITAS	
Versión 2	Noviembre 2024	

El sistema consta de un programa principal (AERMOD) y dos preprocesadores (AERMET y AERMAP). El objetivo principal de AERMET es calcular los parámetros de la capa límite para su uso por AERMOD. La INTERFAZ meteorológica, interna a AERMOD, utiliza estos parámetros para generar perfiles de las variables meteorológicas necesarias. Además, AERMET pasa todas las observaciones meteorológicas a AERMOD.

Características de la superficie en forma de albedo, rugosidad de la superficie y relación de Bowen, más observaciones meteorológicas estándar (velocidad del viento, dirección del viento, temperatura y nubes cubierta), son entradas a AERMET. AERMET calcula los parámetros PBL: velocidad de fricción (u^*), longitud de Monin-Obukhov (L), escala de velocidad convectiva (w^*), escala de temperatura (σ^*), altura de (z_i) y flujo de calor superficial (H). Estos parámetros se pasan a la INTERFAZ (que está dentro de AERMOD) donde las expresiones de similitud (junto con las mediciones) se utilizan para calcular perfiles verticales de velocidad del viento (u), fluctuaciones turbulentas laterales y verticales ($Turbv$, $Turbw$), gradiente de temperatura potencial (dT/dz) y temperatura potencial (θ). (U.S. Environmental Protection Agency, 2004).

El preprocesador de terreno AERMAP utiliza datos de terreno cuadrículados para calcular una altura representativa de influencia del terreno (h_c), también conocida como la escala de altura del terreno. La escala de altura del terreno h_c , que se define de forma única para cada ubicación del receptor, se utiliza para calcular la altura de la línea divisoria. Los datos cuadrículados que necesita AERMAP se seleccionan del modelo de elevación (DEM). AERMAP también se usa para crear redes de receptores. La elevación para cada receptor especificado se asigna automáticamente a través de AERMAP. Para cada receptor, AERMAP pasa la siguiente información a AERMOD: La ubicación del receptor (x_r , y_r), su altura sobre el nivel medio del mar (z_r), y la escala de altura del terreno específica del receptor (h_c). La descripción detallada de los algoritmos matemáticos implementados por el sistema AERMOD se podrá consultar en AERMOD: (U.S. Environmental Protection Agency, 2004) DESCRIPTION OF MODEL FORMULATION (U.S. Environmental Protection Agency, 2004).

7.8.5.3 Aviation Environmental Design Tool (AEDT) Versión 3e

La Herramienta de Diseño Ambiental de Aviación (AEDT, por sus siglas en inglés) es un programa computacional desarrollado y actualizado por entidades gubernamentales de Estados Unidos, enfocado para la evaluación en espacio y tiempo de ruido, consumo de combustible y dispersión de emisiones en aeropuertos, con el fin de analizar las consecuencias en la calidad del aire, con capacidad escalable en simulaciones locales, nacionales e internacionales.

AEDT integra las capacidades computacionales del Modelo Integrado de Ruido (INM, por sus siglas en inglés) y el Sistema de Modelación de Emisiones y Dispersión (EDMS, por sus siglas en inglés), unificando las capacidades de computaciones de ambos modelos. Asimismo, AEDT permite la computación a través de la conexión a la base de datos BADA 3 y BADA 4 (enfocada en la modelación de inventario de emisiones y dispersión de contaminantes) y la base de datos ANP (empleada para simulaciones de ruido y potencia acústica) reguladas por la Organización Europea para la Seguridad de la Navegación Aérea (EUROCONTROL). En ese orden de ideas, la resumen en general la estructuración de estudios para la simulación de ruido y emisiones en aeropuertos con el programa AEDT.



Figura 7-19 Esquema conceptual del modelo AEDT.

Fuente: Gestión y Medio Ambiente S.A.S (2024)

El modelo AEDT, permite integrar las diferentes etapas operacionales en aeropuertos para equipos aéreos de ala fija (aviones, avionetas y similares) y eje rotatorio (helicópteros). Para operaciones en tierra, se incluyen elementos de apoyo en tierra (GSE, por sus siglas en inglés), entre las cuales figuran las pistas (*runways*), entradas (*gates*), terminales (*terminal*), edificaciones (*buildings*), calles de rodaje (*taxiways* y *taxipaths*) y helipuertos (*helipads*). Adicionalmente, AEDT posee la capacidad de incluir estudios para inventario y dispersión de emisiones de automotores circundantes al aeropuerto, cuantificando así, los aportes de movilidad terrestre ajenos a las operaciones internas del aeropuerto dentro del estudio.

Las operaciones en aire son desarrolladas a través de rutas de vuelo para diferentes operaciones de vuelo, constituidas por rutas de despegue, aterrizaje, rutas de circuito y sobrevuelo. El análisis de operaciones aéreas efectuadas mediante “anualizaciones” de las operaciones de vuelo comercial o militar¹, a través del promedio de vuelos registrados en el aeropuerto / aeródromo en estudio.

7.8.6 Simulación de Emisiones

AEDT permite la computación de inventario de emisiones por operaciones aeronáuticas incluyendo emisiones por recorridos, puesta en marcha y Unidades Auxiliares de Poder (APU, por sus siglas en inglés). En general, los contaminantes modelados corresponden a:

- Monóxido de carbono (CO).

¹ Los vuelos militares representan una limitación en AEDT debido al acceso de información y la confidencialidad de equipos aéreos y de soporte en tierra.

- Hidrocarburos totales (THC).
- Hidrocarburos sin metano (NMHC).
- Compuestos Volátiles Orgánicos (VOC).
- Gases Totales Orgánicos (TOG).
- Óxidos de nitrógeno (NOx).
- Óxidos de sulfuro (SOx).
- Material particulado (PM).
- Dióxido de carbono (CO2).
- Agua (H2O).
- Especies de Gases Orgánicos (SOG), incluyendo contaminantes de aire peligros (HAPs).

Por otro lado, los modelos de dispersión de contaminantes efectuados en AEDT emplean el modelo AERMOD, desarrollado por Sociedad Americana de Meteorología (AMS, por sus siglas en inglés) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA), considerando fuentes de emisiones fijas espacialmente, con su respectiva tasa de emisión fija horaria dentro de un archivo de entrada en formato HRE.

Las operaciones en aire son modeladas mediante las rutas de vuelo efectuadas por la aeronave de ala fija o eje rotatorio, según sea el caso, considerando un conjunto de segmentos de vuelo como fuente de área, distribuidas por la ruta de vuelo seleccionada para la operación aérea.

Las operaciones en tierra incluyen modelaciones de dispersión de emisiones por equipos de apoyo en tierra, unidades auxiliares de poder y operaciones de puesta en marcha asociadas a entradas o terminales en AEDT²². Las entradas en AEDT son representadas mediante fuentes de emisión de tipo “AERMOD VOLUME”. Por su parte, las terminales corresponden a una fuente de emisiones de tipo “AREAPOLY”. Las chimeneas con temperaturas de salida, velocidad y diámetro interno, especificadas por el usuario, son entendidas como fuentes de emisión de tipo “POINT”. En general, la Tabla 7-11 presenta las diferentes fuentes de emisión consideradas para la modelación de dispersión de emisiones en AEDT.

Tabla 7-11 Tipos fuentes de emisión consideradas en AEDT y AERMOD

Tipo de fuente en AEDT	Tipo de fuente en AERMOD
Operaciones aéreas • Segmentos de aerotransporte • Segmentos de recorridos en tierra	1 o más fuentes de AREA(s)
Fuentes estacionarias	POINT, VOLUMEN o AREAPOLY
Entradas	VOLUME
Terminales	AREAPOLY
Parqueaderos	1 o más fuentes de AERAPOLY(s)
Carreteras	1 o más fuentes de AREA(s)
Concentración de fondo	BACKGRND

Fuente: Federal Aviation Administration (2023).

En general, el detalle de la construcción de los archivos de entrada para efectos de dispersión de emisiones, podrán ser consultadas en la carpeta de anexos de modelación (3_Anexos\Cap. 07 Uso, demanda RRNN\7.8 Emisiones atmosféricas\Anexo 7.8-1 Aire\Anexo 3. Archivos Modelacion\AEDT). Asimismo, los factores de emisión considerados para análisis de emisiones son presentados en la Tabla 7-12.

²² Los conceptos de entrada y terminales son conceptos abstractos, los cuales designan puntos estratégicos para la operatividad del aeropuerto en tierra.

Tabla 7-12 Factores de emisión para la aeronave de eje rotatorio Bell 212 Huey (UH-1N) (CH-135)

Contaminante	Factor de emisión (g / kg combustible)			
	Despegue	Ascenso	Aproximación	Inactivo
Monóxido de carbono	3.85	3.34	37.74	31.51
Óxidos de nitrógeno	7.75	6.34	2.53	1.58
Número de humo	-1	-1	-1	-1
Hidrocarburos totales	0.27	0.26	13.57	58.09
Material particulado	0	0	0	0
Flujo de flujo sin ajuste	0.086938538	0.086308548	0.027971529	0.018269693

Fuente: AEDT (2023).

7.8.7 Dominio de modelación

La **Figura 7-20** presenta las coordenadas y dimensiones el área de estudio o dominio de modelación. Este dominio fue definido teniendo como referencia el centro del polígono que delimita el área de influencia del proyecto *Línea eléctrica de conexión parques eólicos Beta y Alpha a subestación Cuestecitas*. Dado que la finalidad del modelo es definir el impacto sobre la calidad del aire por parte de las fuentes de emisión, el dominio de modelación se define considerando la ubicación de las múltiples fuentes de emisión que operarán durante cada una las etapas del desarrollo de proyecto. Se selecciona un dominio de modelación de 70 Km x 70 Km.

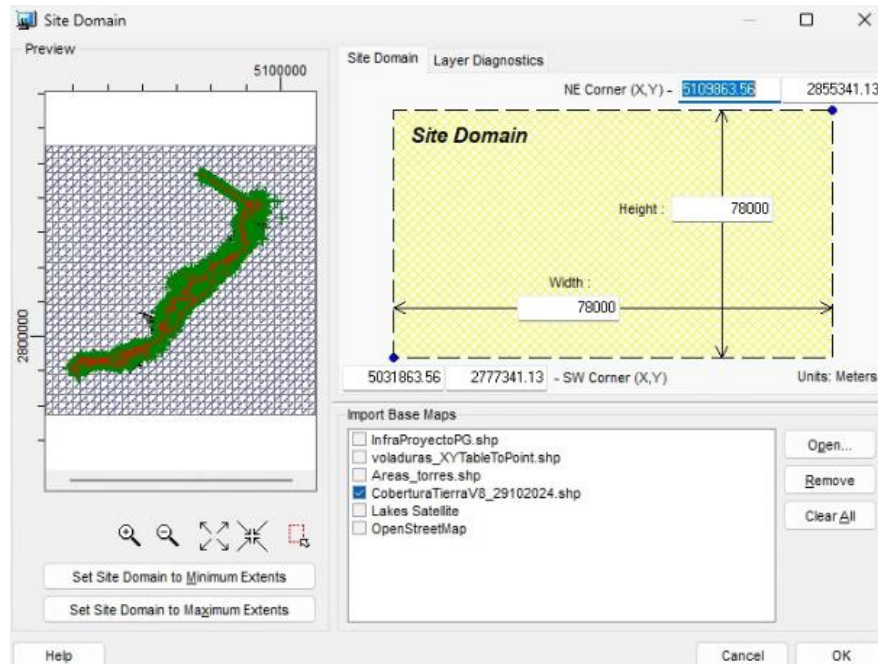


Figura 7-20 Coordenadas de definición del dominio de modelación *Origen Único Nacional*

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

Así mismo se estableció un dominio de modelación en el software AEDT3f para simular los aportes de contaminantes criterio asociados a la operación del helicóptero Bell 212 durante la fase

constructiva del proyecto y cuyo dominio de modelación y grilla de receptores se estableció teniendo en cuenta el área de influencia del proyecto, la cual se estableció a partir de la extensión de las isopletas generadas durante corridas preliminares del modelo.

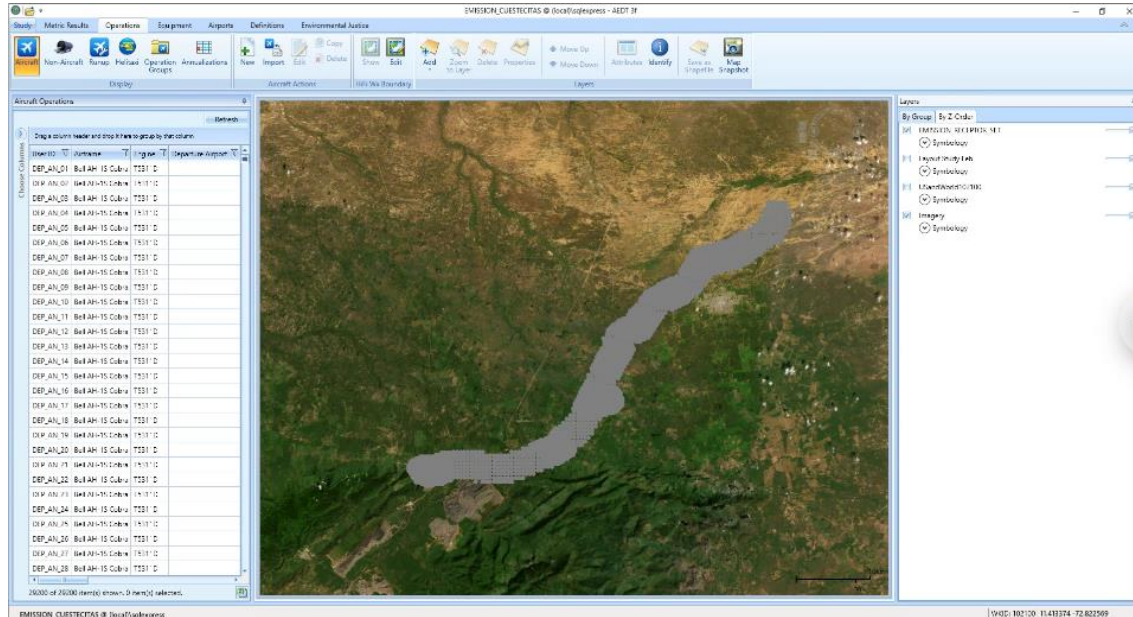


Figura 7-21 Coordenadas de definición del dominio de modelación *Origen Único Nacional"

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

7.8.7.1 Modelo de elevación digital

El modelo de elevación digital que alimenta a partir de datos satelitales SRTM1 descargados del servicio Web Gis para ser procesados por AERMAP los resultados de procesamiento del modelo de elevación digital se presenta en la **Figura 7-22**.

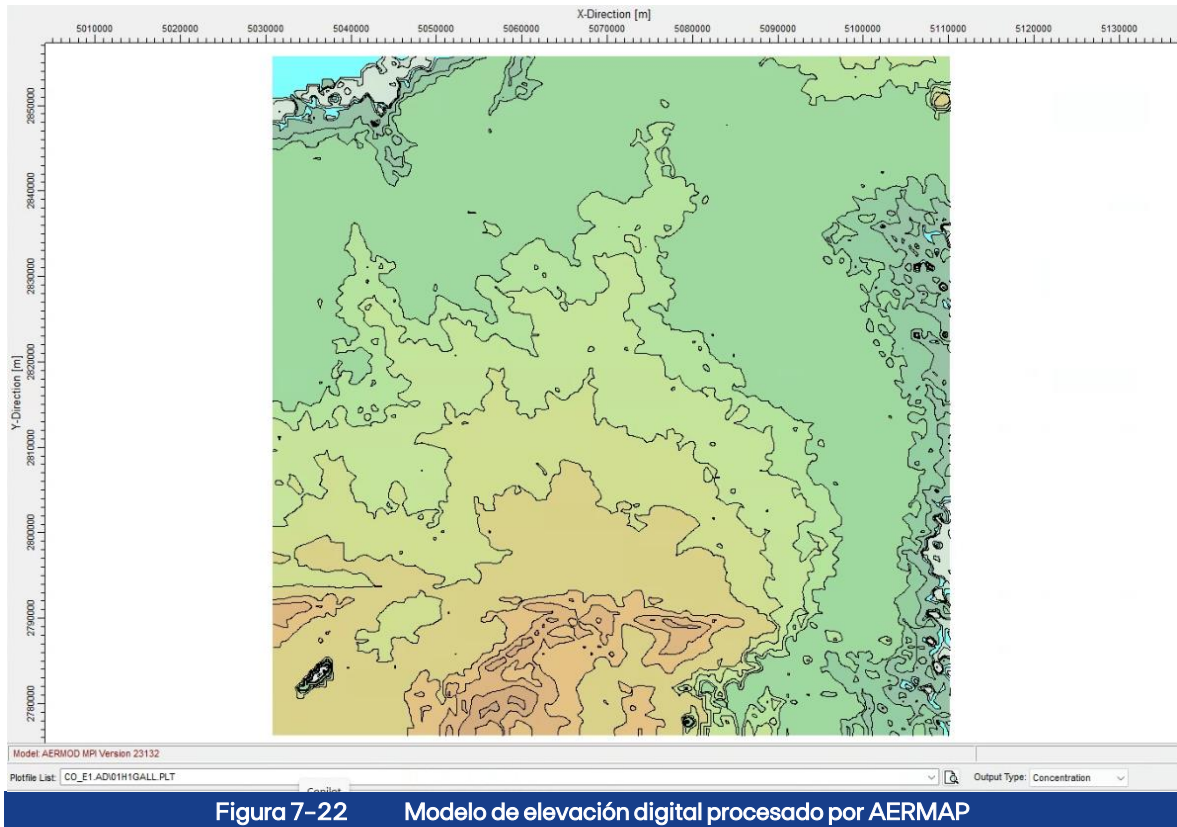


Figura 7-22 Modelo de elevación digital procesado por AERMAP

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

7.8.8 Receptores

Dentro del dominio de simulación se establecen los siguientes receptores:

- 6 receptores discretos con fines de comparación con respecto a los resultados obtenidos durante la campaña de monitoreo de calidad del aire utilizada como línea base. Estos receptores proporcionarán datos para verificar ajuste del modelo de dispersión de contaminantes.
- Una malla de 8692 receptores discretos que permiten observar cómo se comporta la dispersión de contaminantes desde las carreteras y fuentes lineales
- Una malla de 236 receptores discretos que representan sitios de interés (cementeros, resguardos indígenas, viviendas e instituciones educativas)
- Una malla de 1600 receptores cartesianos distribuidos uniformemente por toda la zona de modelación.

La **Figura 7-23** presenta la malla de receptores dominio de modelación superpuestos mediante la interfaz gráfica de AERMOD:

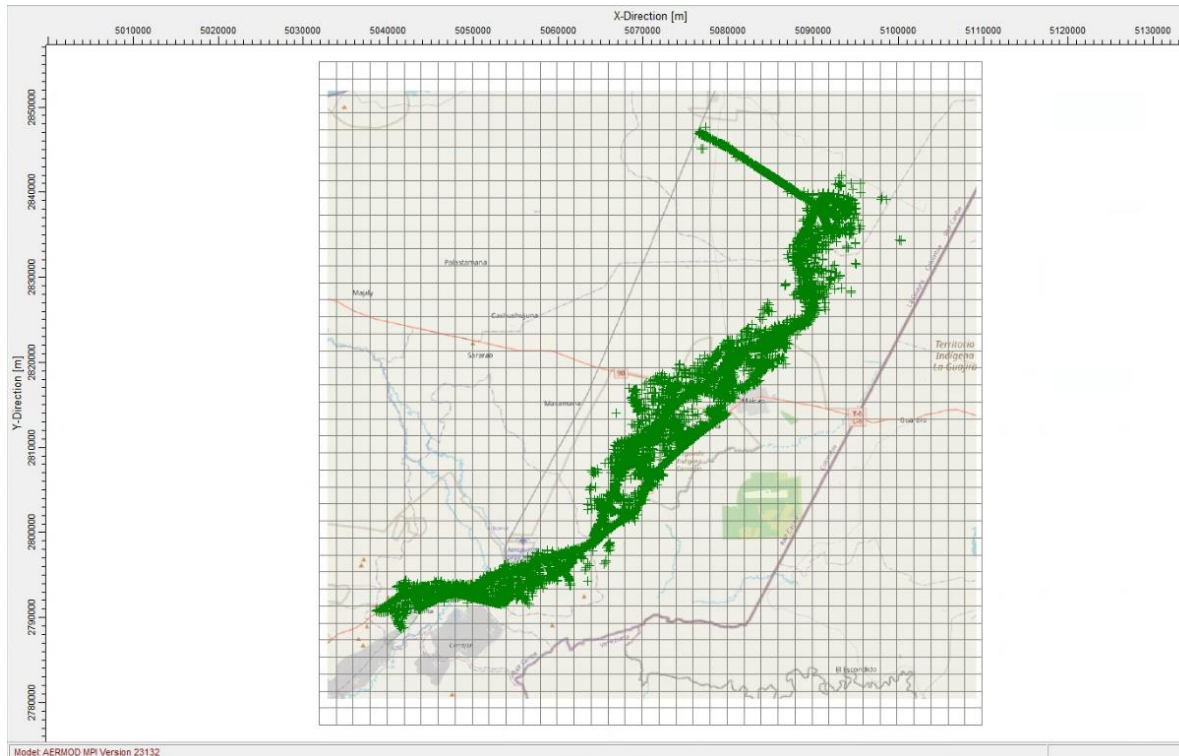


Figura 7-23 Receptores para simulación de dispersión de contaminantes en AERMOD

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

En el caso del modelo AEDT3f, se toma una malla general que tiene la extensión de los resultados obtenidos por toda el área de influencia del proyecto, así mismo se tuvo en cuenta otra malla adicional con 236 receptores discretos que simbolizan puntos de interés (cementérios, resguardos indígenas, viviendas e instituciones educativas).

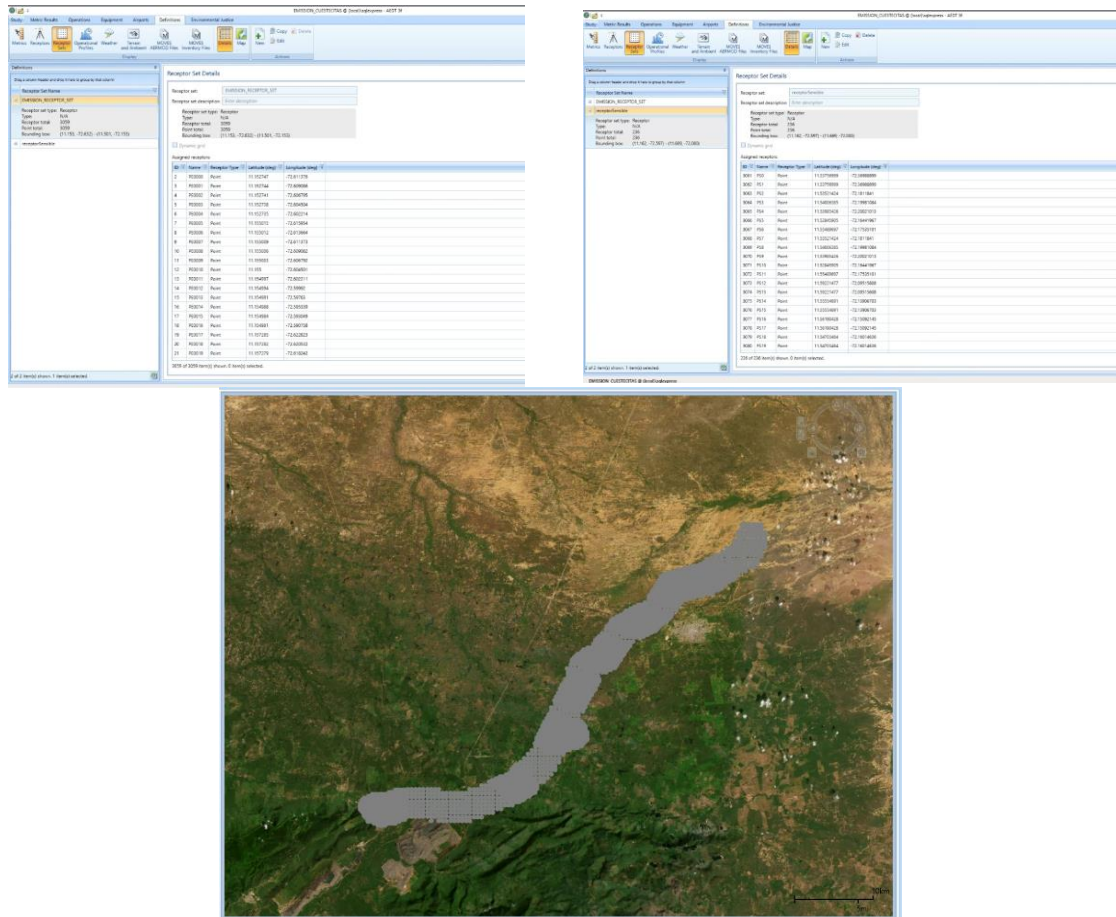


Figura 7-24 Receptores para simulación de dispersión de contaminantes en AEDT3f

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

En la **Tabla 7-13**, se presenta la identificación de los receptores de interés que se tuvieron en cuenta para la modelación.

Tabla 7-13 Resumen de receptores de interés

ID AERMOD	Nombre Común	Coordenadas Origen Único Nacional CTM12	
		Este (m)	Norte (m)
100_A	Cementerio_Araparen	5090739,42	2828968.29
101_A	Cementerio_Franelamana_2_Toloira	5091580,81	2828039.08
102_A	Cementerio_Franelamana_2_Toloira	5091580,81	2828039.08
103_A	Cementerio_Toloira	5093322,19	2828667.25
104_A	Cementerio_Toloira	5093322,19	2828667.25
105_A	Cementerio1_Araparen	5090695,54	2828947.29
106_A	Cementerio1_Araparen	5090695,54	2828947.29
108_A	Escuela 1 Araparen	5090059,57	2828747.15
109_A	Escuela 10	5092247,14	2835205.96
10_A	Cementerio	5091082,09	2832084.73
110_A	Escuela 10	5092247,14	2835205.96
111_A	Escuela 11	5093216,74	2840884.86
112_A	Escuela 11	5093216,74	2840884.86
113_A	Escuela 12	5086944,47	2840031.18
114_A	Escuela 12	5086944,47	2840031.18

ID AERMOD	Nombre Común	Coordenadas Origen Único Nacional CTM12	
		Este (m)	Norte (m)
115_A	Escuela 14	5077071,12	2845096.01
116_A	Escuela 14	5077071,12	2845096.01
118_A	Escuela 3	5100301	2834296.36
119_A	Escuela 3	5100301	2834296.36
120_A	Escuela 4	5100296,99	2834347.24
121_A	Escuela 4	5100296,99	2834347.24
124_A	Escuela 7	5093663,12	2835746.62
125_A	Escuela 7	5093663,12	2835746.62
126_A	Escuela 8	5093625,32	2835728.45
127_A	Escuela 8	5093625,32	2835728.45
128_A	Escuela 9	5094645,91	2835086.76
129_A	Escuela 9	5094645,91	2835086.76
130_A	Escuela Atnamana	5076002,56	2811127.06
131_A	Escuela Atnamana	5076002,56	2811127.06
134_A	Escuela Limoncito	5083890,76	2819296.94
135_A	Escuela Limoncito	5083890,76	2819296.94
136_A	Escuela Mapuachon	5094646,56	2835083.47
138_A	Escuela Sukuluwou	5093636,4	2835693.87
139_A	Escuela Swriuara	5077533,27	2816571.17
13_A	CEMENTERIO	5089882,02	2835003.75
140_A	Escuela Swriuara	5077533,27	2816571.17
141_A	Escuela_Toloira	5094431,42	2828381.32
142_A	Escuela_Toloira	5094431,42	2828381.32
143_A	Escuela1_Araparen	5090059,57	2828747.15
144_A	Escuela1_Araparen	5090059,57	2828747.15
145_A	Escuela2_Araparen	5090065,27	2828732.65
146_A	Escuela2_Araparen	5090065,27	2828732.65
148_A	Finca El Naranjal	5046587,69	2791836.06
149_A	Finca El Naranjal	5046587,69	2791836.06
14_A	Cementerio	5089252,43	2832826.17
150_A	Finca La Holandesa	5049326,63	2791765.01
151_A	Finca La Holandesa	5049326,63	2791765.01
152_A	Finca los Seis Hermanos	5063736,56	2798600.87
153_A	Finca los Seis Hermanos	5063736,56	2798600.87
158_A	Hotel Waya Guajira	5045164,89	2792489.13
159_A	Hotel Waya Guajira	5045164,89	2792489.13
15_A	Cementerio	5087220,46	2833356.52
160_A	Iglesia 1	5098561,66	2839107.15
161_A	Iglesia 1	5098561,66	2839107.15
162_A	Iglesia 10	5093062,95	2840992.89
163_A	Iglesia 10	5093062,95	2840992.89
164_A	Iglesia 2	5100144,11	2834340.58
165_A	Iglesia 2	5100144,11	2834340.58
168_A	Iglesia 5	5095530,58	2841062.11
169_A	Iglesia 5	5095530,58	2841062.11
16_A	Cementerio	5087177	2833333.23
170_A	Iglesia 6	5095516,54	2839886.73
171_A	Iglesia 6	5095516,54	2839886.73
172_A	Iglesia 7	5093738,22	2835670.63
173_A	Iglesia 7	5093738,22	2835670.63
174_A	Iglesia 8	5093715,51	2835679.85

ID AERMOD	Nombre Común	Coordenadas Origen Único Nacional CTM12	
		Este (m)	Norte (m)
175_A	Iglesia 8	5093715,51	2835679.85
176_A	Iglesia 9	5095434,43	2835680.7
177_A	Iglesia 9	5095434,43	2835680.7
178_A	Iglesia Mapuachon	5095434,43	2835680.7
17_A	Cementerio	5091082,09	2832084.73
180_A	Iglesia_Toloira	5094490	2828225.08
181_A	Iglesia_Toloira	5094490	2828225.08
182_A	Reservorio de agua Sukuluwou	5092248,97	2835199.37
185_A	Vivienda 3	5089375,47	2832854.87
186_A	Vivienda 4	5088187,22	2833246.04
187_A	Vivienda 5	5087004,75	2832596.18
189_A	Vivienda 7	5086636,99	2828952.03
18_A	CEMENTERIO	5089882,02	2835003.75
191_A	Vivienda 9	5094960,42	2831581.47
192_A	Vivienda 10	5086934,52	2824931.38
193_A	Vivienda 11	5087609,32	2824762.29
194_A	Vivienda 12	5088081,16	2823248.01
19_A	Cementerio 1	5098610,38	2839155.41
200_A	Vivienda 18	5092016,17	2829944.82
201_A	Vivienda 19	5092006,32	2829959.39
202_A	Vivienda 20	5092022,44	2829960.52
203_A	Vivienda 21	5092030,97	2829945.42
204_A	Vivienda 22	5092081,29	2830008.53
205_A	Vivienda 23	5092010,81	2830029.67
206_A	Vivienda 24	5091990,83	2830021.68
207_A	Vivienda 25	5091997,61	2830034.47
208_A	Vivienda 26	5091972,06	2830019.56
209_A	Vivienda 27	5091989,72	2829847.41
20_A	Cementerio 1	5098610,38	2839155.41
214_A	Vivienda 32	5087721,53	2827869.82
215_A	Vivienda 33	5086660,94	2828955.87
216_A	Vivienda 34	5086710,51	2829117.71
217_A	Vivienda 35	5086788,24	2829197.41
219_A	Vivienda 37	5087026,14	2832235.85
21_A	Cementerio 11	5093836,82	2835087.25
220_A	Vivienda 38	5087029,93	2832260.14
221_A	Vivienda 39	5088959,87	2833329.53
222_A	Vivienda 40	5089546,14	2832900.66
223_A	Vivienda 41	5089567,78	2832893.05
224_A	Vivienda 42	5089566,17	2833033.93
225_A	Vivienda 43	5089783,97	2833012.46
226_A	Vivienda 44	5089809,98	2833216.53
227_A	Vivienda 45	5089864,72	2833121.65
228_A	Vivienda 46	5090021,6	2833225.72
229_A	Vivienda 47	5090001,37	2833242.61
22_A	Cementerio 11	5093836,82	2835087.25
230_A	Vivienda 48	5090055,95	2833252.55
231_A	Vivienda 49	5090662,36	2830650.51
232_A	Vivienda 50	5090742,32	2830472.81
233_A	Vivienda 51	5091052,29	2830445.07
234_A	Vivienda 52	5092559,69	2831453.39

ID AERMOD	Nombre Común	Coordenadas Origen Único Nacional CTM12	
		Este (m)	Norte (m)
235_A	Vivienda 53	5092339,85	2831332.82
236_A	Vivienda 54	5095012,39	2831477.89
237_A	Vivienda 55	5087613,1	2824747.17
238_A	Vivienda 56	5086925,49	2824951.83
239_A	Vivienda 57	5089375,47	2832854.87
23_A	Cementerio 12	5092542,58	2835786.14
240_A	Vivienda 58	5088187,22	2833246.04
241_A	Vivienda 59	5087004,75	2832596.18
242_A	Vivienda 60	5086636,99	2828952.03
243_A	Vivienda 61	5094960,42	2831581.47
244_A	Vivienda 62	5086934,52	2824931.38
245_A	Vivienda 63	5087609,32	2824762.29
246_A	Vivienda 64	5088081,16	2823248.01
247_A	Vivienda 65	5092016,17	2829944.82
248_A	Vivienda 66	5092006,32	2829959.39
249_A	Vivienda 67	5092022,44	2829960.52
24_A	Cementerio 12	5092542,58	2835786.14
250_A	Vivienda 68	5092030,97	2829945.42
251_A	Vivienda 69	5092081,29	2830008.53
252_A	Vivienda 70	5092010,81	2830029.67
253_A	Vivienda 71	5091990,83	2830021.68
254_A	Vivienda 72	5091997,61	2830034.47
255_A	Vivienda 73	5091972,06	2830019.56
256_A	Vivienda 74	5091989,72	2829847.41
257_A	Vivienda 75	5087721,53	2827869.82
258_A	Vivienda 76	5086660,94	2828955.87
259_A	Vivienda 77	5086710,51	2829117.71
25_A	Cementerio 13	5091541,9	2834139.46
260_A	Vivienda 78	5086788,24	2829197.41
261_A	Vivienda 79	5087026,14	2832235.85
262_A	Vivienda 80	5087029,93	2832260.14
263_A	Vivienda 81	5088959,87	2833329.53
264_A	Vivienda 82	5089546,14	2832900.66
265_A	Vivienda 83	5089567,78	2832893.05
266_A	Vivienda 84	5089566,17	2833033.93
267_A	Vivienda 85	5089783,97	2833012.46
268_A	Vivienda 86	5089809,98	2833216.53
269_A	Vivienda 87	5089864,72	2833121.65
26_A	Cementerio 13	5091541,9	2834139.46
270_A	Vivienda 88	5090021,6	2833225.72
271_A	Vivienda 89	5090001,37	2833242.61
272_A	Vivienda 90	5090055,95	2833252.55
273_A	Vivienda 91	5090662,36	2830650.51
274_A	Vivienda 92	5090742,32	2830472.81
275_A	Vivienda 93	5091052,29	2830445.07
276_A	Vivienda 94	5092559,69	2831453.39
277_A	Vivienda 95	5092339,85	2831332.82
278_A	Vivienda 96	5095012,39	2831477.89
27_A	Cementerio 14	5090662,79	2835791.44
280_A	Vivienda 98	5087613,1	2824747.17
281_A	Vivienda 99	5086925,49	2824951.83

ID AERMOD	Nombre Común	Coordenadas Origen Único Nacional CTM12	
		Este (m)	Norte (m)
284_A	Vivienda_CI_Ara	5091217,54	2830015
285_A	Vivienda_CI_Ara	5091217,54	2830015
28_A	Cementerio 14	5090662,79	2835791.44
29_A	Cementerio 15	5091448,76	2835929.72
2_A	CASA AUTKASUTOT	5068730,01	2810927.43
30_A	Cementerio 15	5091448,76	2835929.72
31_A	Cementerio 17	5092741,14	2834194.88
32_A	Cementerio 17	5092741,14	2834194.88
33_A	Cementerio 18	5093303,6	2841944.4
34_A	Cementerio 18	5093303,6	2841944.4
35_A	Cementerio 19	5089246,38	2837775.33
36_A	Cementerio 19	5089246,38	2837775.33
37_A	Cementerio 2	5098092,55	2839375.83
38_A	Cementerio 2	5098092,55	2839375.83
39_A	Cementerio 20	5087458,3	2839804.66
3_A	CASA AUTKASUTOT	5068730,01	2810927.43
40_A	Cementerio 20	5087458,3	2839804.66
41_A	Cementerio 21	5077048,26	2845113.57
42_A	Cementerio 21	5077048,26	2845113.57
43_A	Cementerio 23	5077345,58	2847618.54
44_A	Cementerio 23	5077345,58	2847618.54
45_A	Cementerio 26	5076847,1	2845105.81
46_A	Cementerio 26	5076847,1	2845105.81
47_A	Cementerio 3	5098044,37	2839146.55
48_A	Cementerio 3	5098044,37	2839146.55
52_A	Cementerio 7	5094496,79	2841037.27
53_A	Cementerio 7	5094496,79	2841037.27
56_A	Cementerio Araparen	5090606,12	2826103.36
58_A	Cementerio Centro poblado Carraipía	5068337,88	2801544.21
59_A	Cementerio Comunidad Araparen	5091339,83	2828079.26
60_A	Cementerio Comunidad Iruaru	5072222,99	2814337.81
61_A	Cementerio Comunidad Iruaru	5072222,99	2814337.81
62_A	Cementerio Comunidad Kapuchirrain	5089247,24	2832828
63_A	Cementerio Comunidad Mapuachon	5093836,82	2835087.25
64_A	Cementerio Comunidad Orrotchon	5090662,79	2835791.44
65_A	Cementerio Comunidad Sukuluwou	5092542,58	2835786.14
66_A	Cementerio Comunidad Walirumana	5089871,72	2834106.8
69_A	Cementerio Indígena	5080554,62	2818754.21
6_A	Cementerio	5089252,43	2832826.17
72_A	Cementerio Indígena	5080554,62	2818754.21
7_A	Cementerio	5087220,46	2833356.52
81_A	Cementerio Kapuchirrain	5089247,24	2832828
82_A	Cementerio Kashatain	5089882,02	2835003.75
83_A	Cementerio Kashatain	5089882,02	2835003.75
87_A	Cementerio Mapuachon	5095557,12	2835973.19
8_A	Cementerio	5087177	2833333.23
90_A	Cementerio Orrotchon	5090320,88	2835405.18
91_A	CEMENTERIO PALASUMANA	5072222,99	2814337.81
92_A	CEMENTERIO PALASUMANA	5072222,99	2814337.81
94_A	Cementerio Sulukuwou	5092542,58	2835786.14
97_A	Cementerio Walirumana	5089871,72	2834106.8

ID AERMOD	Nombre Común	Coordenadas Origen Único Nacional CTM12	
		Este (m)	Norte (m)
99_A	Cementerio_Araparen	5090739,42	2828968,29

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

7.8.8.1 Inventario de fuentes de emisiones atmosféricas

Un inventario de emisiones es un recuento de la cantidad de contaminantes liberados a la atmósfera. Generalmente, el inventario contiene las emisiones totales de uno o más gases de efecto invernadero o contaminantes del aire en específico, los cuales provienen de todo tipo de fuentes en una determinada área geográfica y durante un lapso establecido, por lo general un año específico.

Dentro del alcance del presente informe, se realizó el inventario de emisiones atmosféricas asociadas a construcción del proyecto *Línea eléctrica de conexión parques eólicos Beta y Alpha a subestación Cuestecitas*, así como inventario de emisiones de fuentes móviles asociadas a circulación de vehículos por vías que utilizará el proyecto.

Dada la escala del modelo, la ubicación, no se considera inventario de emisiones adicionales como la actividad industrial cercanas, actividades de la cabecera municipal, fuentes menores, quemas por prácticas agrícolas, incendios forestales y otras actividades dentro de la región que se encuentran ubicadas a más de 25 Km. Lo anterior de acuerdo con las recomendaciones realizadas por Torres (2008), quien indica que la modelación para fuentes locales utiliza dominios de modelación de máximo 20 km a la redonda de las fuentes de emisión.

La metodología para realizar el levantamiento del inventario de emisiones incluyo las siguientes actividades:

- Alistamiento y revisión de información preliminar o complementaria.
- Planeación de actividades
- Conceptualización de escenarios de operación del proyecto *Línea eléctrica de conexión parques eólicos Beta y Alpha a subestación Cuestecitas*.
- Conceptualización de procesos de combustión para cada tipo de combustible.
- Determinación de métodos de cálculo de cargas contaminantes.
- Ejecución de cálculos de cargas contaminantes por balance de materiales tomando como base los certificados de emisiones de los motores y factores de emisión del AP 42 de la US EPA aplicables.

En las secciones posteriores se describen los resultados de las emisiones de material por cada una de las operaciones.

7.8.9 Emisiones del proyecto

A continuación, se describe la metodología implementada para la estimación de emisiones atmosféricas para cada una de las fuentes descritas, así como la parametrización de los resultados del inventario antes de ser alimentados al modelo AERMOD.

7.8.9.1 Fuentes Lineales

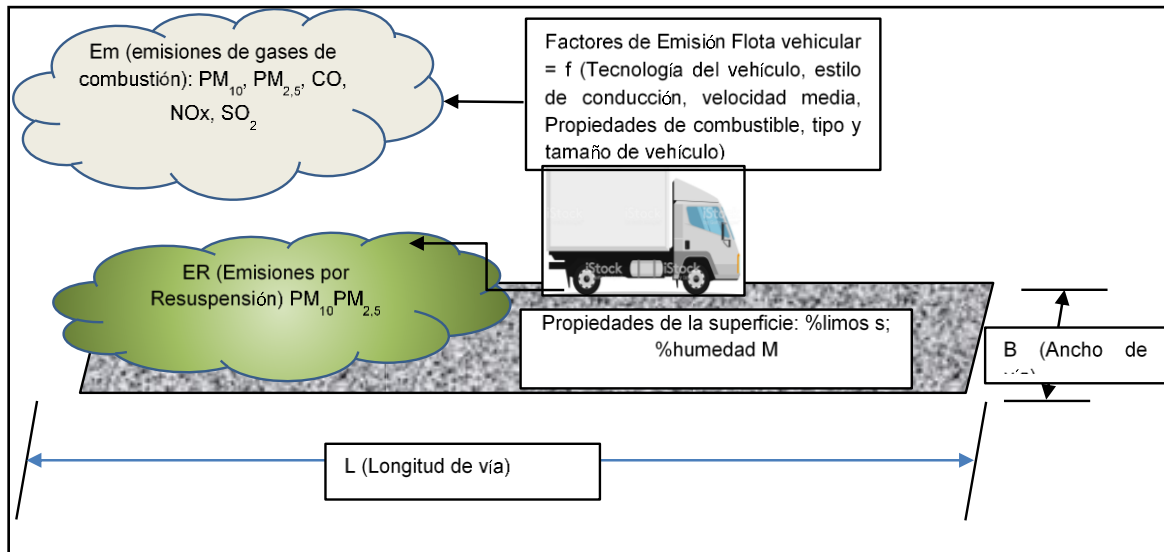


Figura 7-25 Modelo conceptual para fuentes de emisión lineales.

Fuente: GESTIÓN Y MEDIO AMBIENTE S.A.S. (2024)

La **Figura 7-25** expone el modelo conceptual de las emisiones de las fuentes lineales, las cuales incluirán las emisiones por fuentes móviles (Em) y las emisiones por Resuspensión de material particulado proveniente de la vía (Er) las cuales incluyen la pérdida de partículas por desgaste de frenos y neumáticos de los vehículos.

Las emisiones totales E_{Li} por fuente lineal se calculan como:

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

Donde:

E_{Li} = Flujo másico de contaminante i a la atmósfera proveniente de la fuente línea del contaminante i (g/s)

Er_i = Emisión de la fuente línea por Resuspensión de material de la vía del contaminante i (g/s).

Em_i = Emisiones del contaminante i en gases de combustión de fuentes móviles. (g/s)

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

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

Donde:

E'_i = Flujo másico de contaminante i a la atmósfera o Emisión de la fuente línea del contaminante por unidad de área i (g/s m^2).

E_i = Flujo másico de contaminante i a la atmósfera o Emisión de la fuente línea del contaminante i (g/s).

A_{op} = Área donde se desarrolla la actividad que genera las descargas de contaminantes a la atmósfera (m^2).

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL LÍNEA ELÉCTRICA DE CONEXIÓN PARQUES EÓLICOS BETA Y ALPHA A SUBESTACIÓN CUESTECITAS	
Versión 2	Noviembre 2024	

La emisión por resuspensión E_r por definición se calcula como:

$$E_r = F E_i * F A_r$$

Donde:

$F E_i$ = Factor de emisión para el contaminante i por resuspensión = E_{ext} .

$F A_r$ = Factor de actividad de la vía para emisiones por resuspensión (V km/día).

E_{ext} = Factor de emisión específico extrapolado por mitigación natural para resuspensión en vías.

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

$$F A_r = V * L * T$$

Donde:

$F A$: Factor de actividad (V km/día).

V = Vehículos por unidad de tiempo, V/día.

L = longitud de la vía, km.

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

La emisión por fuentes móviles se calcula como:

$$E m_i = \sum_{k=1}^n F E_{i,k} * F A_{m,k}$$

Donde:

$E m_i$ = Emisiones del contaminante i en gases de combustión de fuentes móviles. (g/s)

$F E_{i,k}$ = Factor de emisión para el contaminante i por fuentes móviles para la categoría de vehículos k (g/km).

$F A_m$ = Factor de actividad de la vía para fuentes móviles (km).

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

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

Donde:

t_{op} = Tiempo efectivo de operación al año expresado en segundos.

mes_{act} = Numero de meses al año en los que se desarrolla la actividad.

$sem_{act}/Año_{op}$ = Numero de semana al mes en los que se desarrolla la actividad.

dia_{Act}/sem_{Act} = Número de Días a la semana los que se desarrolla la actividad.

h_{Act}/dia_{Act} = Horas diarias en las que se desarrolla la actividad (turno).

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL LÍNEA ELÉCTRICA DE CONEXIÓN PARQUES EÓLICOS BETA Y ALPHA A SUBESTACIÓN CUESTECITAS	
Versión 2	Noviembre 2024	

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

El factor de actividad se estima como:

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

Donde:

FA_{mk}= Factor de actividad de la vía para fuentes móviles de la categoría K (km).

L= Longitud de la vía (km).

V_k= Vehículos de la categoría k (Adimensional).

7.8.9.2 Factores de emisión por resuspensión

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

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

$$E_i = \frac{k \left(\frac{s}{12}\right)^a \left(\frac{S}{30}\right)^d}{\left(\frac{M}{0.5}\right)^c} - C$$

Donde:

E_i = Factor de emisión por tamaño de partícula g/VKT

s = Contenido de limos de la superficie de la carretera (%)

W = peso medio de la flota vehicular (t)

M = Contenido de humedad de la superficie (%)

S = velocidad media de los vehículos (km/h)

C = factor de emisión para vehículos de 1980 por desgaste de frenos y neumáticos (g/VKT)

K, a, d, c son constantes de finidas en función del tamaño de partícula.

Tabla 7-14 Constantes para cálculo de emisiones por Resuspensión

Constante	Sitios industriales ³			Vías públicas ⁴		
	PM 2.5	PM10	PST	PM 2.5	PM10	PST
k	0,15	1,5	4,9	0,18	1,8	6
a	0,9	0,9	0,7	1	1	1
b	0,45	0,45	0,45	–	–	–
c	–			0,2	0,2	0,3
d	–			0,5	0,5	0,3
C	–	–	–	0,00036	0,00047	0,00047

Fuente: AP42, Section 13.2.2 Unpaved Roads – Updated November 2006

<https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0202.pdf>

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

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

E_{ext} = Factor de emisión específico extrapolado por mitigación natural, lb/VMT

P = número de días por año con precipitación de al menos 0.254 mm (0.01 in).

A su vez, el factor de corrección por mitigación natural (lluvia) E_{ext} es corregido por un factor de eficiencia que toma en cuenta los sistemas de control de emisiones. Para el caso particular del proyecto *Línea eléctrica de conexión parques eólicos Beta y Alpha a subestación Cuestecitas*, en el Escenario 1 no se considera sistema de control de emisiones, ya que la vía municipal carece de sistema de control para la emisión de partículas por resuspensión en vías destapadas, y por tanto, la eficiencia de control de emisiones es nula; en contraste, en el Escenario 2, donde se plantea la construcción y operación del proyecto *Línea eléctrica de conexión parques eólicos Beta y Alpha a subestación Cuestecitas*, se consideran como sistema de control de emisiones el riego sobre vías y la limpieza constante de las mismas para retirar material en exceso, y se asume un factor eficiencia por defecto de 0.8 con base en las recomendaciones de la Agencia de Protección Ambiental del Condado de San Diego (SanDiegoCounty.gov, 1998). A continuación, se relaciona la ecuación para corrección por eficiencia del control de emisiones:

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

Donde:

E_{ext} = Factor de emisión específico extrapolado por mitigación natural, lb/VMT

e = Factor de eficiencia del control de emisiones (0.8).

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

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

Donde:

E_i = Factor de emisión por tamaño de partícula g/VKT

³ Unidades reportadas para aplicación en sistema inglés. Durante la rutina de cálculo se utilizan los factores de conversión adecuados.

⁴ Unidades reportadas para aplicación en sistema inglés. Durante la rutina de cálculo se utilizan los factores de conversión adecuados.

s_L = Contenido de limos de la superficie de la carretera (g/m^2)

W = peso medio de la flota vehicular (t)

K , constantes definidas en función del tamaño de partícula.

Tabla 7-15 Constantes para cálculo de emisiones por Resuspensión

Tamaño de partícula	Sitios industriales ⁵		
	g/VKT	g/VMT	lb/VMT
PM 2,5	0,15	0,25	0,00054
PM 10	0,62	1,00	0,0022
PM 15	0,77	1,23	0,0027
PM 30	3,23	5,24	0,011

Fuente: AP42, Section 13.2.1 Paved Roads – Updated November 2011

https://www.epa.gov/sites/production/files/2020-10/documents/13.2.1_paved_roads.pdf

La sección Inventario de fuentes de emisiones atmosféricas presenta el listado de fuentes de línea consideradas en la simulación de dispersión de contaminantes. En 3_Anejos\Cap. 07 Uso, demanda RRNN\7.8 Emisiones atmosféricas\Anexo 7.8-1 Aire en la sección VÍAS presenta las memorias de cálculo de las emisiones de las fuentes lineales representadas como fuentes LÍNEA – ÁREA, incluyendo la información base, datos intermedios y los datos considerados para la determinación de las emisiones por resuspensión.

7.8.9.3 Factores de emisión por fuentes móviles

Para el cálculo de las emisiones de fuentes móviles se utilizan factores de emisión simplificados reportados por Lents, J., Walsh, M., He, K., Davis, N., Osses, M., Tolvet, S., & Liu, H. (2008) en su libro Handbook of Air Quality Management. para países en vías de desarrollo, considerando tecnologías sin control. Lo anterior considerando una ausencia de información de caracterización de la flota vehicular de la región objeto de estudio, en términos de tecnología, patrones de conducción y factores particulares de las rutas regionales.

Tabla 7-16 Factores de emisión para fuentes móviles en países en vías de desarrollo

Factor Total de emisión (g/Km)				
Tecnología de vehículo	CO	HC	NOx	PM
Vehículo de pasajeros carburado gasolina, sin control.	60,3	6,07	3,02	0,004
Vehículo de pasajeros carburado a gasolina, con control catalítico.	41,19	2,46	2,10	0,004
Vehículo con inyección de combustible, sin control.	57,57	7,39	3,8	0,004
Vehículo con inyección de combustible, con control catalítico.	22,45	1,86	1,71	0,004
Motocicleta gasolina de dos ciclos.	26,57	7,89	0,05	0,282
Motocicleta a gasolina de cuatro ciclos.	12,71	1,7	0,31	0,076
Busco camión carburado a gasolina, sin control.	44,23	2,62	1,82	0,037
Vehículo diésel, carga liviana, sin control.	0,85	0,38	0,92	0,09
Vehículos diésel, carga liviana, con filtro catalítico de mp.	0,17	0,077	0,92	0,009
Bus o camión diésel, sin control.	7,2	1,22	5,45	0,169
Bus o camión diésel, control DOC.	1,44	0,24	5,45	0,118
Bus o camión diésel, con filtro, catalítico de mp.	0,67	0,2	1,51	0,017

Fuente: Manual de Gestión de Calidad del Aire, Capítulo 6, Sección 6.2, Tabla 3.2.2-1

⁵ Unidades reportadas para aplicación en sistema inglés. Durante la rutina de cálculo se utilizan los factores de conversión adecuados.

<http://www.aqbook.org/>

Ante la ausencia de información se asumió una flota vehicular en una situación que describe el peor caso, que corresponde a aquel en el cual circulan Vehículo de pasajeros carburado a gasolina sin control, Bus o camión diésel sin control y Motocicleta gasolina de dos ciclos. En los anexos de modelación (3_Anexos\Cap. 07 Uso, demanda RRNN\7.8 Emisiones atmosféricas\Anexo 7.8-1 Aire) se presentan los cálculos de las emisiones de la flota vehicular vinculada a las vías de acceso al proyecto basado en los aforos vehiculares realizados en el marco del EIA de la *Línea eléctrica de conexión parques eólicos Beta y Alpha a subestación Cuestecitas*. La distribución horaria de las fuentes lineales existentes adopta a partir de las distribuciones obtenidas de los datos de aforo vehicular.

7.8.9.4 Fuentes de área

La siguiente figura presenta el modelo conceptual utilizado para simular las fuentes de área de las actividades de obra civil y producción presentes en el proyecto *Línea eléctrica de conexión parques eólicos Beta y Alpha a subestación Cuestecitas*.

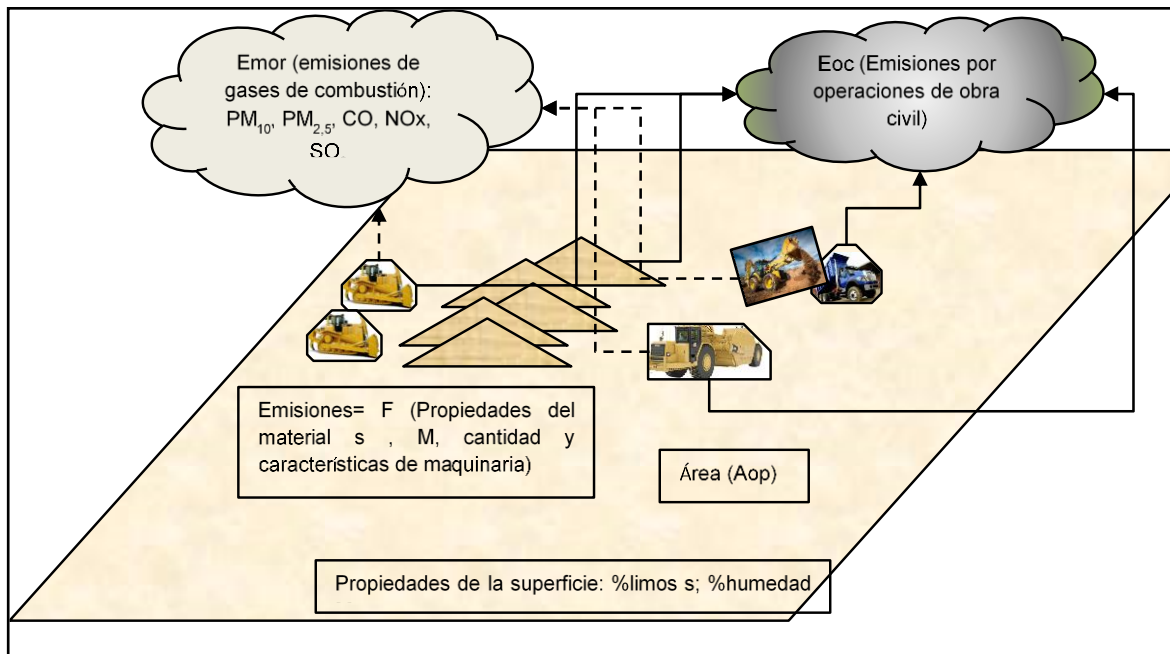


Figura 7-26 Modelo conceptual para fuentes de emisión de Área

Fuente: GESTIÓN Y MEDIO AMBIENTE S.A.S. (2024)

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

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

Dónde:

E_{OC} = Emisiones de las actividades de obra civil.

E_{A1}, E_{A2}, E_{An} = emisiones de la operación 1 hasta la operación n de obra civil.

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

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

Dónde:

E'_{OCI} = Flujo másico de contaminante i a la atmosfera por unidad de área i (g/s m²).

E_{OCI} = Emisiones de las actividades de obra civil del contaminante i (g /s).

A_{op} = Área donde se desarrolla la actividad que genera las descargas de contaminantes a la atmosfera (m²).

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

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

Donde:

FE_n = Factor de emisión de la actividad n

FA_n = Factor de actividad de la actividad n

El desarrollo de cada término de emisiones se presenta en las emisiones subsecuentes. Para la estimación de emisiones de obra civil se siguen los lineamientos establecidos por la US EPA en “*Emission Factors AP42 CH 13.2.3: Heavy Construction Operation*”⁶; donde se establecen procedimientos para estimación de emisiones de diferentes actividades presentes y se asignan factores de emisión de otras secciones aplicables de AP 42, “*Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources*”.

7.8.9.5 Factores de emisión por descapote

Para la operación de descapote se consideran los factores de emisión planteados para la operación de remoción de capa vegetal mediante maquinas rascadoras (Scrapers). Los factores de emisión utilizados se presentan a continuación.

Tabla 7-17 Factores de emisión para fuentes con partículas suspendidas No controladas: Maquina rascadora

Fuente	Material	Factor de emisión TSP	Unidades	Rating
“ <i>Scraper machine</i> ”	Capa vegetal	0,029	Kg/Mg	E

Fuente: AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 11 Section 11.9, Tables 11.9-4 SOURCES AT WESTERN

SURFACE COAL MINES. <https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch11/final/c11s09.pdf>

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

$$E_A = FE_n * FA_n * K$$

Donde:

⁶ Consultar en <https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s02-3.pdf>

EA= Emisión de la actividad (g/s).

FE= Factor de emisión de la actividad Kg/Mg.

FA_n= Factor de actividad de la actividad (Mg/año).

K= Grupo de factores de conversión que proporcionan consistencia dimensional a la expresión.

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

Para la especiación por tamaño de partícula (PM₁₀ y PM_{2.5}), se aplican los datos de distribución generalizada de partícula reportados en “*Compilation of Air Pollutant Emissions Factors (AP-42). APPENDIX B.2 GENERALIZED PARTICLE SIZE DISTRIBUTIONS*”⁷

Alternativamente para en actividades relacionadas con remoción de capa vegetal en actividades de excavación para el tendido de líneas de flujo se considera el factor de emisión de 5,7 kg/VKT propuesto por AP-42, CH 13.2.3: “Heavy Construction Operation – section updated to correct”.⁸ En ese caso las emisiones se calculan como:

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

$$E_A = FE_n * FA_n * K$$

Donde:

EA= Emisión de la actividad (g/s).

FE= Factor de emisión de la actividad Kg/VKT.

FA_n= Factor de actividad de la actividad Vkm (Vehículos por longitud de vía).

K= Grupo de factores de conversión que proporcionan consistencia dimensional a la expresión.

7.8.9.6 Movimiento y carga de material a granel

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

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

Donde:

E=factor de emisión (kg/Mg)

K=multiplicador tamaño de partícula

U=velocidad media del viento (m/s)

⁷ <https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/appendix/appb-2.pdf>

⁸ <https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s02-3.pdf>

M=humedad de material (%)

El factor multiplicador k varía con el diámetro aerodinámico de la partícula.

Tabla 7-18 Factores K multiplicador según tamaño de partículas

Factor multiplicador según tamaño de partícula				
<30mm	<15 mm	<10 mm	<5 mm	<2,5 mm
0.74	0.48	0.35	0.20	0.053

Fuente: AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 13 Section 13.2.4/13.2.4.3

<https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0204.pdf>

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

$$E_A = FE_n * FA_n * K$$

Donde:

EA= Emisión de la actividad (g/s).

FE= Factor de emisión de la actividad Kg/Mg.

FA_n= Factor de actividad de la actividad (Mg/año).

K= Grupo de factores de conversión que proporcionan consistencia dimensional a la expresión.

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

Para el manejo de las unidades de tiempo se aplican los conceptos de tiempo efectivo de operación.

7.8.9.7 Fuentes móviles por maquinaria no vial alimentada con diésel.

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

Tabla 7-19 Factores de emisión de nivel 1 para maquinaria todoterreno

Contaminante	Unidad	Factor de emisión
CO	g/Ton	10774
NM VOC	g/Ton	3377
NO _x	g/Ton	32629
PM ₁₀	g/Ton	2104
PM _{2.5}	g/Ton	2104
SO ₂	g/Ton	724

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

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

$$E_A = FE_n * FA_n * K$$

Donde:

EA= Emisión de la actividad (g/s).

FE= Factor de emisión de la actividad g/t (gramos por tonelada de combustible).

FA_n= Factor de actividad de la actividad (t/año).

K= Grupo de factores de conversión que proporcionan consistencia dimensional a la expresión.

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

El cálculo del Factor de actividad en este caso será:

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

Donde:

Pi=Potencia nominal de la categoría de máquina i.

PC=Poder calorífico superior del combustible.

η= Eficiencia media de la maquinaria en la quema del combustible.

Para el manejo de las unidades de tiempo se aplican los conceptos de tiempo efectivo de operación.

7.8.9.8 Actividades de voladuras

Para las actividades que involucran detonaciones con explosivos, se emplean los factores de emisión consignados en el capítulo 13.3 “Ordinance Detonation” del documento AP 42, Fifth Edition, Volume I de la EPA para la estimación de emisiones de monóxido de carbono. Para estimar las emisiones de material particulado se emplean los factores de emisión consignados en la sección 11.9. “Western Surface Coal Mining”, “Uncontrolled open dust sources”

Tabla 7-20 Factores de emisión de monóxido de carbono para detonación de explosivos

Contaminante	Factor de emisión por detonación de explosivos (Kg/Mg)
CO	34
NOx	8

Fuente: AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 13 Section 13.3.1.

Tabla 7-21 Factores de emisión de monóxido de carbono para detonación de explosivos

Contaminante	Factor de emisión por detonación de explosivos (Kg/Mg)
PM10	0.00022(A ⁹) ^{1.5} *0.52
PM2.5	0.00022(A) ^{1.5} *0.03

Fuente: AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 11 Section 11.9.2.

⁹ Área de intervención para la detonación, en este caso se asume el área total del pilote o el estribo a intervenir

7.8.10 Resultados del inventario de emisiones

A continuación, se procede a presentar los resultados de la modelación en cada uno de los escenarios planteados inicialmente teniendo en cuenta los algoritmos de cálculo y las características dimensionales de las diferentes fuentes de emisión contempladas.

7.8.10.1 Escenario 1

El escenario corresponde al análisis y valoración de las fuentes de emisión lineales y móviles que actualmente están presentes en la zona en donde se contempla la ejecución del proyecto. Los resultados de la estimación del inventario de emisiones se realizan sobre la base de cálculo de un año de (cargas máscas anuales por contaminante), además considerando que todos los tramos de las vías se encuentran en funcionamiento continuo.

Adicionalmente se tuvo en cuenta para la determinación de las emisiones lineales el estado en que se encontraban las vías (sin pavimentar y pavimentadas según corresponda).¹⁰

Tabla 7-22 Inventario de emisión escenario actual

TASA DE EMISIÓN	CONTAMINANTE (TON/AÑO)				
	PM 2.5	PM10	SO2	NOx	CO
Vías	569.5	5053.3	15.5	538.6	12452.6

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

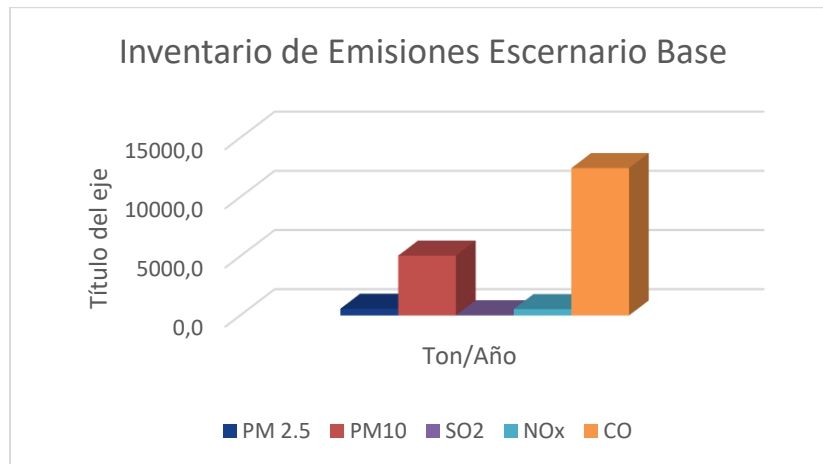


Figura 7-27 Proporción de Contaminantes Criterio Escenario base

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

Se observa que los contaminantes con mayor tasa de emisión son CO, PM10 y PM2.5, esto se debe principalmente a la predominancia de las fuentes lineales en este escenario.

¹⁰ Para detallar los procedimientos, así como las rutinas de cálculo para establecer los diferentes inventarios de emisiones, remitirse al "Anexo 1. Memorias de Cálculo" y a la sección "Inventario de Emisiones Atmosféricas" del informe de modelación

7.8.10.2 Escenario constructivo sin medidas de control

El escenario corresponde al análisis y valoración de las fuentes de emisión lineales, móviles y áreas (helicópteros) que actualmente están presentes en la zona en donde se contempla la ejecución del proyecto junto con las fuentes de área contempladas para la fase constructiva del proyecto. Los resultados de la estimación del inventario de emisiones se realizan sobre la base de cálculo de un año de (cargas máscas anuales por contaminante), además considerando que todos los tramos de las vías se encuentran en funcionamiento continuo.

Adicionalmente se tuvo en cuenta para la determinación de las emisiones lineales el estado en que se encontraban las vías (sin pavimentar y pavimentadas según corresponda).

Tabla 7-23 Inventario de emisión escenario constructivo sin medidas de control

Tasa de Emisión	Contaminante (Ton/año)				
	PM 2.5	PM10	SO2	NOx	CO
Vías	7,205E+02	6,557E+03	1,603E+01	5,535E+02	1,256E+04
Torres	239,4	627,5	65,9	2967,9	980,0
Accesos	4,3	5,6	1,6	70,5	23,3
Ocupación cauce	3,21E-02	1,46E-01	4,57E-03	2,06E-01	6,80E-02
Voladuras	1,39E-02	7,43E-01	0,00E+00	3,05E-05	3,28E-03
Patios	3,39E-01	1,93E+00	2,11E-02	9,52E-01	3,14E-01
Transporte Aéreo	0,00E+00	0,00E+00	6,90E-01	2,90E+00	2,82E+00
Total	964,6	7193,1	84,2	3596,0	13568,7
Vías (%)	74,7	91,2	19,1	15,4	92,6
Torres (%)	24,8	8,7	78,2	82,5	7,2
Accesos (%)	0,4	0,1	1,9	2,0	0,2
Ocupación cauce (%)	3,33E-03	2,03E-03	5,43E-03	5,73E-03	5,01E-04
Voladuras (%)	1,45E-03	1,03E-02	0,00E+00	8,47E-07	2,42E-05
Patios (%)	3,52E-02	2,69E-02	2,51E-02	2,65E-02	2,32E-03
Transporte Aéreo (%)	0,00E+00	0,00E+00	8,20E-01	8,06E-02	2,08E-02
Total %	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

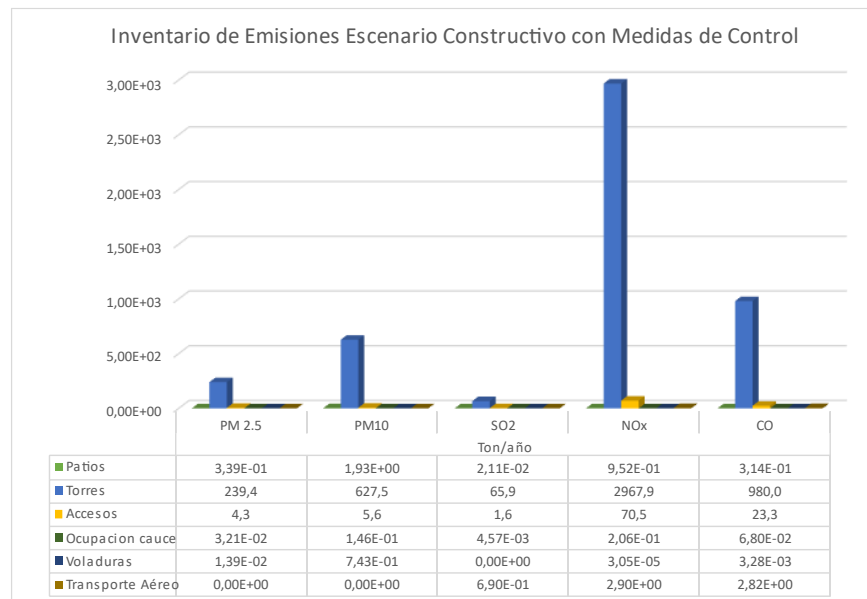


Figura 7-28 Proporción de Contaminantes Criterio Escenario 2 sin Medidas de Control

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

En este escenario se identifica a CO, NO_x y PM₁₀ como los contaminantes con mayor tasa de emisión, esto se debe a la predominancia de las fuentes de construcción que operan en este escenario en conjunto con la circulación de vehículos que transitan en las vías debido a la flota vehicular del proyecto y al flujo vehicular caracterizado durante las campañas de aforo.

7.8.11 Escenario constructivo con medidas de control

El escenario corresponde al análisis y valoración de las fuentes de emisión lineales, móviles y aéreas (helicópteros) que actualmente están presentes en la zona en donde se contempla la ejecución del proyecto junto con las fuentes de área contempladas para la fase constructiva del proyecto. Los resultados de la estimación del inventario de emisiones se realizan sobre la base de cálculo de un año de cargas máxicas anuales por contaminante, además considerando que todos los tramos de las vías se encuentran en funcionamiento continuo. Adicionalmente, se contemplaron en este escenario control de emisiones de resuspensión de partículas en vías destapadas mediante control de velocidad en vehículos pertenecientes a la flota vehicular del proyecto.

Tabla 7-24 Inventario de emisión escenario constructivo con medidas de control

Tasa de Emisión	Contaminante (Ton/año)				
	PM 2.5	PM10	SO ₂	NO _x	CO
Vías	7,114E+02	6,467E+03	1,603E+01	5,535E+02	1,256E+04
Torres	239,4	627,5	65,9	2967,9	980,0
Accesos	4,3	5,6	1,6	70,5	23,3
Ocupación cauce	3,21E-02	1,46E-01	4,57E-03	2,06E-01	6,80E-02
Voladuras	1,39E-02	7,43E-01	0,00E+00	3,05E-05	3,28E-03
Patios	3,39E-01	1,93E+00	2,11E-02	9,52E-01	3,14E-01
Transporte Aéreo	0,00E+00	0,00E+00	6,90E-01	2,90E+00	2,82E+00
Total	955,5	7102,5	84,2	3596,0	13568,7
Vías (%)	74,5	91,0	19,1	15,4	92,6
Torres (%)	25,1	8,8	78,2	82,5	7,2
Accesos (%)	0,5	0,1	1,9	2,0	0,2
Ocupación cauce (%)	3,36E-03	2,06E-03	5,43E-03	5,73E-03	5,01E-04
Voladuras (%)	1,46E-03	1,05E-02	0,00E+00	8,47E-07	2,42E-05
Patios (%)	3,55E-02	2,72E-02	2,51E-02	2,65E-02	2,32E-03
Transporte Aéreo (%)	0,00E+00	0,00E+00	8,20E-01	8,06E-02	2,08E-02
Total %	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

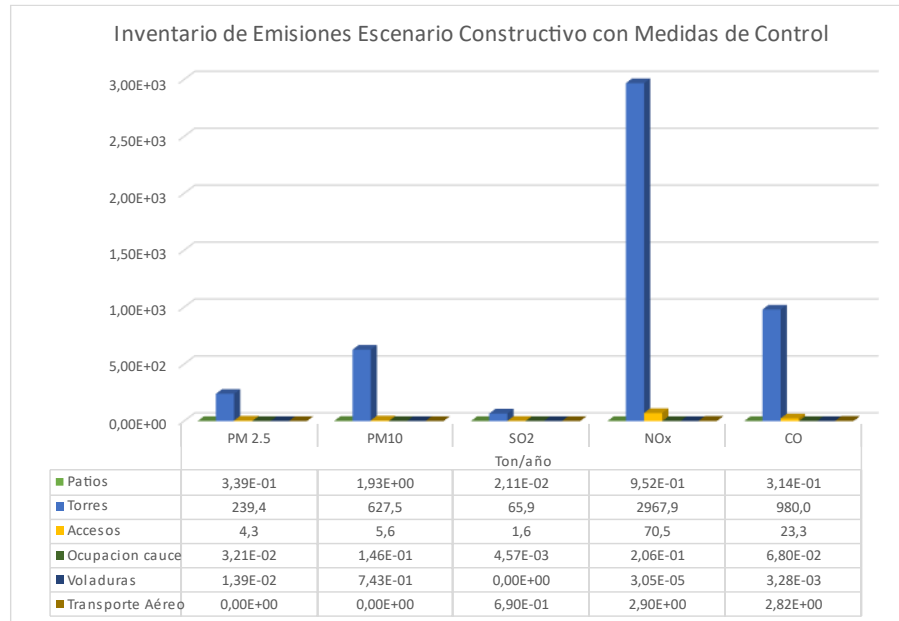


Figura 7-29 Proporción de Contaminantes Criterio Escenario 2 con Medidas de Control

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

En este escenario se observa una disminución en las tasas de emisión de PM10 y PM2.5 debido a las medidas de control contempladas (humectación de vías destapadas).

Los archivos de modelación de fuentes de emisión se presentan en 3_Anexos\Cap. 07 Uso, demanda RRNN\7.8 Emisiones atmosféricas\Anexo 7.8-1 Aire.



Figura 7-30 Fuentes lineales: incluyen vías y corredores de vías de acceso

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

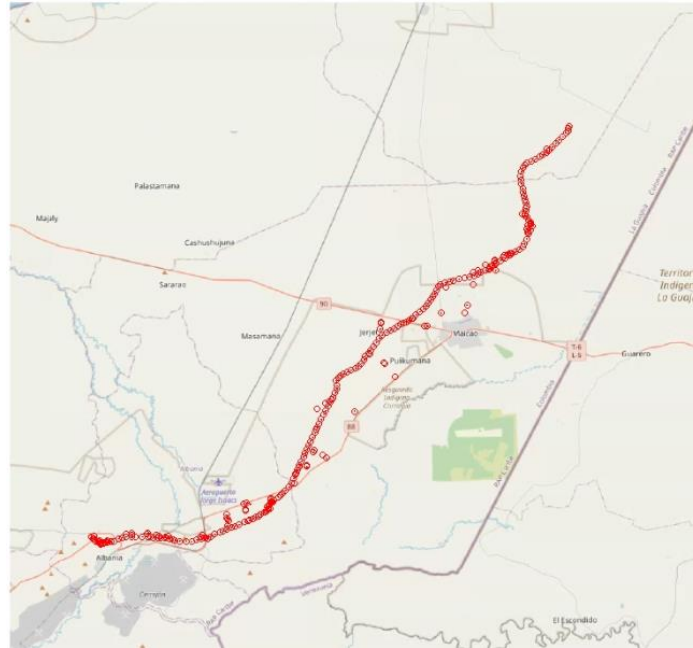


Figura 7-31 Fuentes de área: Incluyen zonas de construcción del parque y zonas de montaje de torres de energía

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

Las fuentes de emisión con los datos parametrizados ingresados en AERMOD, de cada uno de los escenarios se encuentran en *3_Anexos\Cap. 07 Uso, demanda RRNN\7.8 Emisiones atmosféricas\Anexo 7.8-1 Aire*.

Tabla 7-25 Listado de fuentes de emisión ingresadas a AERMOD.

Tipo de fuente	ID	Descripción	Escenario
LINE_AREA	ARLN1	AC_8801	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN2	AC_C1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN3	AC_C1.1a	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN4	AC_C1.1b	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN5	AC_C1.1c	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN6	AC_CZ1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN7	AC_CZ2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN8	AC_CZ3	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN9	AC_CZ4	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN10	AC_CZ4.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN11	AC_CZ4.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN12	AC_CZ4.3	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN13	AC_CZ5	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN14	AC_CZ6	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN15	AC_CZ7	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN16	AC_CZC7.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN17	AC_CZp1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN18	AC_CZp4.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN19	AC_CZp4.2.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN20	AC_CZp5.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN21	AC_Cp1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN22	AC_Cp1.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN23	AC_Cp16	2SC Y 2CC

Tipo de fuente	ID	Descripción	Escenario
LINE_AREA	ARLN24	AC_Cp17	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN25	AC_Cp17.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN26	AC_Cp2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN27	AC_Cp2.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN28	AC_Cp3	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN29	AC_Cz6.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN30	AC_Cz6.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN31	AC_R1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN32	AC_R1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN33	AC_R1.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN34	AC_R1.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN35	AC_R1.3a	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN36	AC_R1.3b	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN37	AC_R1.3c	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN38	AC_R10	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN39	AC_R11	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN40	AC_R12	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN42	AC_R13b	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN44	AC_R14	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN45	AC_R15	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN46	AC_R18	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN47	AC_R19.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN48	AC_R19a	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN49	AC_R19b	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN50	AC_R19c	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN51	AC_R19d	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN52	AC_R19e	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN53	AC_R1_2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN54	AC_R1_T1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN55	AC_R2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN56	AC_R2.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN57	AC_R2.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN58	AC_R2.3	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN59	AC_R20	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN60	AC_R21	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN61	AC_R22	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN62	AC_R22.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN63	AC_R23	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN64	AC_R23.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN65	AC_R3	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN66	AC_R3.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN67	AC_R3.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN68	AC_R4	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN69	AC_R4.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN70	AC_R5	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN71	AC_R5.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN72	AC_R5.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN73	AC_R5a	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN74	AC_R5b	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN75	AC_R6.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN76	AC_R6.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN77	AC_R6.3	2SC Y 2CC

Tipo de fuente	ID	Descripción	Escenario
LINE_AREA	ARLN78	AC_R6.4	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN79	AC_R6.5	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN80	AC_R6a	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN81	AC_R6b	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN82	AC_R6c	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN83	AC_R6d	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN84	AC_R6e	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN85	AC_R6f	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN86	AC_R6g	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN87	AC_R6h	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN88	AC_R6i	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN89	AC_R6j	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN90	AC_R6k	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN91	AC_R7a	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN92	AC_R7b	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN93	AC_R7c	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN94	AC_R7d	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN95	AC_R7e	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN96	AC_R8.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN97	AC_R8_1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN98	AC_R8_1a	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN99	AC_R8_1b	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN100	AC_R8_2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN101	AC_R8_2a	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN102	AC_R8_2b	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN103	AC_R8_2c	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN104	AC_R9	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN105	AC_R9.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN106	AC_RC13.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN107	AC_RC13.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN108	AC_RC15.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN109	AC_RC15.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN110	AC_RC18.2.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN111	AC_RC19.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN112	AC_RC19.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN113	AC_RC19.1.2a	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN114	AC_RC19.1.2b	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN115	AC_RC20.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN116	AC_RC20.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN117	AC_RC21.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN118	AC_RC22.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN119	AC_RCZ1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN120	AC_RCZ1.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN121	AC_RCZ1.2.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN122	AC_RCZ1.2.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN123	AC_RCZ1.3	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN124	AC_RCZ12.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN125	AC_RCZ12.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN126	AC_RCZ12.2.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN127	AC_RCZ12.3	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN128	AC_RCZ18.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN129	AC_RCZ2.1	2SC Y 2CC

Tipo de fuente	ID	Descripción	Escenario
LINE_AREA	ARLN130	AC_RCZ2.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN131	AC_RCZ2.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN132	AC_RCZ2.3	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN133	AC_RCZ2.3.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN134	AC_RCZ2.3.1a	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN135	AC_RCZ2.3.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN136	AC_RCZ2.3.3	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN137	AC_RCZ3.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN138	AC_RCZ3.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN139	AC_RCZ4.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN140	AC_RCZ4.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN141	AC_RCZ5.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN142	AC_RCZ5.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN143	AC_RCZ5.1.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN144	AC_RCZ5.2.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN145	AC_RCZ6.5.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN146	AC_RCZ6.5.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN147	AC_RCZ7.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN148	AC_RCZ8.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN149	AC_RCZC12.3.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN150	AC_RCZC12.3.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN151	AC_RCZp1.1	2SC Y 2CC
LINE	ARLN152	AC_RCZp1.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN153	AC_RCZp1.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN154	AC_RCZp1.2.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN155	AC_RCZp1.2.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN156	AC_RCZp1.2.3	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN157	AC_RCZp1.4	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN158	AC_RCZp1.4.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN159	AC_RCZp1.5	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN160	AC_RCZp10.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN161	AC_RCZp11.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN162	AC_RCZp12.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN163	AC_RCZp12.1.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN164	AC_RCZp12.2.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN165	AC_RCZp13.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN166	AC_RCZp14.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN167	AC_RCZp18.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN168	AC_RCZp19.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN169	AC_RCZp19.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN170	AC_RCZp2.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN171	AC_RCZp2.1.1.1	2SC Y 2CC
LINE	ARLN172	AC_RCZp2.1.1.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN173	AC_RCZp2.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN174	AC_RCZp2.2.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN175	AC_RCZp2.3.21	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN176	AC_RCZp21.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN177	AC_RCZp23.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN178	AC_RCZp23.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN179	AC_RCZp23.3	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN180	AC_RCZp23.4	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN181	AC_RCZp23.5	2SC Y 2CC

Tipo de fuente	ID	Descripción	Escenario
LINE_AREA	ARLN182	AC_RCZp23.5.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN183	AC_RCZp23.5a	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN184	AC_RCZp23.5b	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN185	AC_RCZp3.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN186	AC_RCZp3.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN187	AC_RCZp3.1.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN188	AC_RCZp3.2.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN189	AC_RCZp4.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN190	AC_RCZp4.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN191	AC_RCZp4.1.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN192	AC_RCZp4.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN193	AC_RCZp5.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN194	AC_RCZp5.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN195	AC_RCZp5.1.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN196	AC_RCZp5.2.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN197	AC_RCZp5.2.1.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN198	AC_RCZp6.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN199	AC_RCZp6.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN200	AC_RCZp6.1.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN201	AC_RCZp6.1.2.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN202	AC_RCZp6.1.2.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN203	AC_RCZp6.1.2.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN204	AC_RCZp6.1.2.3	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN205	AC_RCZp6.1.2.4	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN206	AC_RCZp6.1.2.5	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN207	AC_RCZp6.1.2.6	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN208	AC_RCZp6.1.2.7	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN209	AC_RCZp6.1.2.7.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN210	AC_RCZp6.1.2.7.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN211	AC_RCZp6.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN212	AC_RCZp6.2.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN213	AC_RCZp6.2.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN214	AC_RCZp6.2.1.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN215	AC_RCZp6.3	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN216	AC_RCZp6.3.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN217	AC_RCZp6.3.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN218	AC_RCZp6.4.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN219	AC_RCZp6.4.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN220	AC_RCZp7.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN221	AC_RCZp7.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN222	AC_RCZp7.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN223	AC_RCZp7.2.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN224	AC_RCZp7.2.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN225	AC_RCZp8.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN226	AC_RCZp8.1.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN227	AC_RCZp9.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN228	AC_RCZp9.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN229	AC_RCZpC14.1.4	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN230	AC_RCZpC19.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN231	AC_RCZpC23.5.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN232	AC_RCZp_1.10	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN233	AC_RCZp_1.11	2SC Y 2CC

Tipo de fuente	ID	Descripción	Escenario
LINE_AREA	ARLN234	AC_RCZp_1.12	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN235	AC_RCZp_1.13	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN236	AC_RCZp_1.6	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN237	AC_RCZp_1.7	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN238	AC_RCZp_1.8	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN239	AC_RCZp_1.9	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN240	AC_RCC5.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN241	AC_RCp11.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN242	AC_RCp18.1.3	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN243	AC_RCp22.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN244	AC_RCp7.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN245	AC_RCpC18.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN246	AC_RCpC18.1.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN247	AC_Rp1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN248	AC_Rp1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN249	AC_Rp1.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN250	AC_Rp1.2.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN251	AC_Rp14.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN252	AC_Rp14.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN253	AC_Rp2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN254	AC_Rp22.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN255	AC_Rp3	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN256	AC_Rp6.2.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN257	AC_Rp6.2.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN258	AC_RpC14.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN259	AC_RpC3.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN260	AC_RpCZp1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN261	BA_R1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN262	BA_R1_C1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN263	BA_R1_C1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN264	BA_R1_C1.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN265	BA_R1_C1.1.1_Cp1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN266	BA_R1_C1.1_Cp1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN267	BA_R1_C1.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN268	BA_R1_C1.2_Cp1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN269	BA_R1_C1.2_Cp1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN270	BA_R1_C1_Cp2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN271	BA_R1_C2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN272	BA_R1_C2.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN273	BA_R1_C2.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN274	BA_R1_C5	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN275	BA_R1_C5_Cp1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN276	BA_R1_C5_Cp2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN277	BA_R1_C5_Cp3	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN278	BA_R1_C5_Cp4	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN279	BA_R1_C6	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN280	BA_R1_C6.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN281	BA_R1_C6.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN282	BA_R1_C6.2.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN283	BA_R1_C6.2.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN284	BA_R1_C6.2.1.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN285	BA_R1_C7	2SC Y 2CC

Tipo de fuente	ID	Descripción	Escenario
LINE_AREA	ARLN286	BA_R1_C7_Cp1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN287	BA_R1_C7_Cp1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN288	BA_R1_Cp1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN289	BA_R1_Cp2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN290	BA_R2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN291	BA_R2_C1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN292	BA_R2_C1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN293	BA_R2_C1.1_Cp1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN294	BA_R2_C1_Cp1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN295	BA_R2_C2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN296	BA_R2_C3	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN297	BA_R2_C3_Cp1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN298	BA_R2_C4	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN299	BA_R2_C4_Cp1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN300	BA_R2_C4_Cp2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN301	BA_R3	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN302	BA_R4	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN303	BA_R4_C1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN304	BA_R4_C1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN305	BA_R4_C1.1_Cp1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN306	BA_R4_C1.1_Cp1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN307	BA_R4_C1.2	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN308	BA_R4_C1.2.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN309	BA_R4_C1.2.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN310	BA_R4_C1.2.1.1.1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN311	BA_R4_C1.2.1.1_Cp1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN312	BA_R4_C1.2.1_Cp1	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN317	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN318	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN320	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN324	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN325	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN326	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN327	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN329	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN330	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN331	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN332	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN333	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN334	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN335	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN337	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN338	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN339	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN340	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN341	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN342	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN343	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN344	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN345	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN346	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN347	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC

Tipo de fuente	ID	Descripción	Escenario
LINE_AREA	ARLN348	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN349	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN350	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN351	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN352	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN353	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN354	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN355	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN356	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN357	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN358	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN359	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN362	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN364	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN365	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN367	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN368	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN369	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN371	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN372	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN383	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN384	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN385	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN386	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN387	VIA_TIPO3	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN388	VIA_TIPO3	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN389	VIA_TIPO3	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN390	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN391	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN392	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN393	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN394	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN395	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN396	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN397	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN398	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN399	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN400	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN401	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN402	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN403	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN404	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN405	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN406	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN408	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN410	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN411	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN412	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN413	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN414	VIA_TIPO3	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN415	VIA_TIPO3	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN416	VIA_TIPO3	1, 2SC Y 2CC

Tipo de fuente	ID	Descripción	Escenario
LINE_AREA	ARLN417	VIA_TIPO3	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN418	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN419	VIA_TIPO3	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN424	VIA_TIPO3	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN425	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN428	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN429	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN430	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN431	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN432	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN433	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN434	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN435	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN436	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN437	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN438	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN439	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN440	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN441	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN442	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN443	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN444	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN445	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN446	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN447	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN448	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN449	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN450	VIA_TIPO2	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN451	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN452	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN453	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN454	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN455	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN456	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN457	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN458	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN459	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN460	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN462	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN463	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN464	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN465	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN466	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN467	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN468	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN469	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN470	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN471	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN472	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN473	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN474	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN475	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC

Tipo de fuente	ID	Descripción	Escenario
LINE_AREA	ARLN476	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN477	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN478	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN479	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN480	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN481	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN483	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN484	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN486	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN487	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN488	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN489	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN490	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN491	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN492	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN493	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN494	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN495	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN496	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN498	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN499	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN500	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN501	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN502	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN505	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN506	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN507	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN508	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN509	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN514	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN515	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN516	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN517	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN518	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN520	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN521	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN522	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN523	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN524	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN525	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN526	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN527	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN528	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN529	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN530	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN531	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN532	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN533	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN535	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN536	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN537	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN538	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC

Tipo de fuente	ID	Descripción	Escenario
LINE_AREA	ARLN539	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN540	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN542	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN543	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN544	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN551	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN552	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN553	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN554	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN555	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN556	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN557	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN558	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN559	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN560	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN561	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN562	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN563	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN564	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN565	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN566	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN568	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN569	VIA_TIPO1	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN571	VIA_TIPO2	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN572	VIA_TIPO2	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN574	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN575	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN576	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN577	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN578	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN579	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN580	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN581	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN582	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN584	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN585	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN586	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN588	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN589	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN590	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN591	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN592	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN593	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN594	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN595	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN596	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN597	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN598	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN599	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN600	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN601	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN602	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC

Tipo de fuente	ID	Descripción	Escenario
LINE_AREA	ARLN603	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN604	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN605	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN607	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN608	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN609	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN610	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN611	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN612	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN613	VIA_TIPO4	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN614	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN615	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN616	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN617	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN618	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN620	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN621	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN622	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN623	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN624	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN625	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN626	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN627	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN628	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN629	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN630	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN631	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN632	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN633	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN634	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN635	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN636	VIA_TIPO5	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN637	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN638	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN639	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN640	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN641	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN642	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN643	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN644	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN645	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN646	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN647	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN648	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN649	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN650	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN651	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN652	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN653	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN654	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN655	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN656	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC

Tipo de fuente	ID	Descripción	Escenario
LINE_AREA	ARLN657	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN658	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN659	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN660	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN661	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN662	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN663	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN664	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN665	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN666	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN667	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN668	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN669	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN670	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN671	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN672	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN673	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN674	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN675	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN676	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN677	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN678	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN679	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN680	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN681	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN682	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN683	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN684	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN685	VIA_TIPO6	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN687	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN688	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN689	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN690	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN691	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN692	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN693	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN694	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN695	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN696	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN697	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN698	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN699	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN700	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN701	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN702	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN703	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN704	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN705	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN706	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN707	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN708	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN709	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC

Tipo de fuente	ID	Descripción	Escenario
LINE_AREA	ARLN710	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN711	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN712	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN713	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN714	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN715	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN716	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN717	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN718	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN719	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN720	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN721	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN722	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN723	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN724	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN725	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN727	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN728	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN729	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN730	VIA_TIPO7	1, 2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA93	PA_AC04B	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA94	PA_AC_04A	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA95	PA_AC_03	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA96	PA_AC_02	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA97	PA_AC_01	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA98	PA_BA_02	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA99	PA_BA_01	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA2	OC 1	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA3	OC 17	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA4	OC 26	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA5	OC 50	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA6	OC 61	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA7	OC 68	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA8	OC 80	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA9	OC 82	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA10	OC 85	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA11	OC 86	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA12	OC 87	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA13	OC 88	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA14	OC 89	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA15	OC 90	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA16	OC 91	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA17	OC 93	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA18	OC 94	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA19	OC 10	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA20	OC 100	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA21	OC 101	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA22	OC 11	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA23	OC 12	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA24	OC 13	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA25	OC 14	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA26	OC 15	2SC Y 2CC

Tipo de fuente	ID	Descripción	Escenario
AREA_POLY	PAREA27	OC16	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA28	OC18	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA29	OC19	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA30	OC2	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA31	OC20	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA32	OC21	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA33	OC22	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA34	OC23	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA35	OC24	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA36	OC25	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA37	OC27	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA38	OC28	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA39	OC29	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA40	OC3	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA41	OC30	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA42	OC31	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA43	OC32	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA44	OC33	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA45	OC34	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA46	OC35	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA47	OC36	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA48	OC37	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA49	OC38	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA50	OC39	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA51	OC4	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA52	OC40	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA53	OC41	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA54	OC42	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA55	OC43	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA56	OC46	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA57	OC47	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA58	OC49	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA59	OC5	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA60	OC51	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA61	OC52	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA62	OC53	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA63	OC54	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA64	OC55	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA65	OC56	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA66	OC57	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA67	OC58	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA68	OC6	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA69	OC60	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA70	OC62	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA71	OC64	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA72	OC66	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA73	OC67	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA74	OC69	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA75	OC70	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA76	OC71	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA77	OC72	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA78	OC73	2SC Y 2CC

Tipo de fuente	ID	Descripción	Escenario
AREA_POLY	PAREA79	OC74	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA80	OC75	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA81	OC76	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA82	OC77	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA83	OC78	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA84	OC8	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA85	OC81	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA86	OC83	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA87	OC9	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA88	OC95	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA89	OC96	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA90	OC97	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA91	OC98	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA92	OC99	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN43	AC_R13c	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN41	AC_R13a	2SC Y 2CC
LINE_AREA	ARLN422	VIA_TIPO3	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA100	Torre 1	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA101	Torre 2	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA102	Torre 3	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA103	Torre 4	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA104	Torre 6	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA105	Torre 7	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA106	Torre 8	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA107	Torre 9	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA108	Torre 10	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA109	Torre 11	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA110	Torre 12	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA111	Torre 13	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA112	Torre 14	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA113	Torre 15	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA114	Torre 16	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA115	Torre 17	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA116	Torre 18	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA117	Torre 19	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA118	Torre 20	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA119	Torre 21	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA120	Torre 22	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA121	Torre 23	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA122	Torre 24	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA123	Torre 25	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA124	Torre 26	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA125	Torre 28	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA126	Torre 29	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA127	Torre 30	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA128	Torre 31	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA129	Torre 32	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA130	Torre 33	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA131	Torre 34	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA132	Torre 35	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA133	Torre 36	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA134	Torre 37	2SC Y 2CC

Tipo de fuente	ID	Descripción	Escenario
AREA_POLY	PAREA135	Torre 38	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA136	Torre 39	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA137	Torre 40	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA138	Torre 41	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA139	Torre 42	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA140	Torre 43	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA141	Torre 44	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA142	Torre 45	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA143	Torre 46	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA144	Torre 47	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA145	Torre 48	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA146	Torre 49	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA147	Torre 50	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA148	Torre 51	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA149	Torre 52	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA150	Torre 53	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA151	Torre 54	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA152	Torre 55	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA153	Torre 56	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA154	Torre 57	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA155	Torre 58	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA156	Torre 59	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA157	Torre 60	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA158	Torre 61	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA159	Torre 62	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA160	Torre 63	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA161	Torre 64	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA162	Torre 65	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA163	Torre 66	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA164	Torre 67	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA165	Torre 68	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA166	Torre 69	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA167	Torre 70	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA168	Torre 71	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA169	Torre 72	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA170	Torre 73	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA171	Torre 74	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA172	Torre 75	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA173	Torre 76	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA174	Torre 77	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA175	Torre 78	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA176	Torre 79	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA177	Torre 80	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA178	Torre 81	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA179	Torre 82	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA180	Torre 83	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA181	Torre 84	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA182	Torre 85	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA183	Torre 86	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA184	Torre 87	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA185	Torre 88	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA186	Torre 89	2SC Y 2CC

Tipo de fuente	ID	Descripción	Escenario
AREA_POLY	PAREA187	Torre 90	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA188	Torre 91	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA189	Torre 92	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA190	Torre 93	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA191	Torre 94	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA192	Torre 95	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA193	Torre 96	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA194	Torre 97	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA195	Torre 98	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA196	Torre 99	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA197	Torre 100	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA198	Torre 101	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA199	Torre 102	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA200	Torre 103	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA201	Torre 104	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA202	Torre 105	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA203	Torre 106	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA204	Torre 107	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA205	Torre 108	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA206	Torre 109	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA207	Torre 110	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA208	Torre 111	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA209	Torre 112	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA210	Torre 113	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA211	Torre 133	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA212	Torre 134	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA213	Torre 135	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA214	Torre 136	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA215	Torre 137	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA216	Torre 138	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA217	Torre 139	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA218	Torre 01 BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA219	Torre 02 BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA220	Torre 03 BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA221	Torre 04 BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA222	Torre 10BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA223	Torre 114VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA224	Torre 115VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA225	Torre 116VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA226	Torre 117VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA227	Torre 118VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA228	Torre 119VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA229	Torre 11BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA230	Torre 120VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA231	Torre 121VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA232	Torre 122VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA233	Torre 123VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA234	Torre 124VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA235	Torre 125VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA236	Torre 126VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA237	Torre 127VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA238	Torre 128 VC	2SC Y 2CC

Tipo de fuente	ID	Descripción	Escenario
AREA_POLY	PAREA239	Torre 129VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA240	Torre 12BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA241	Torre 130VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA242	Torre 131VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA243	Torre 132VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA244	Torre 133VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA245	Torre 138A1	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA246	Torre 13BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA247	Torre 140A	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA248	Torre 140B	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA249	Torre 141BN	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA250	Torre 142B	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA251	Torre 14BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA252	Torre 15BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA253	Torre 16BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA254	Torre 17BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA255	Torre 18BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA256	Torre 1A1	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA257	Torre 20BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA258	Torre 21BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA259	Torre 22BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA260	Torre 23BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA261	Torre 24BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA262	Torre 25BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA263	Torre 26BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA264	Torre 27BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA265	Torre 28BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA266	Torre 29BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA267	Torre 30BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA268	Torre 31BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA269	Torre 32BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA270	Torre 33BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA271	Torre 34BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA272	Torre 35BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA273	Torre 58A	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA274	Torre 58B	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA275	Torre 5BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA276	Torre 6BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA277	Torre 7BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA278	Torre 8BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA279	Torre 9BA	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA280	Voladura Torre 102	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA281	Voladura Torre 103	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA282	Voladura Torre 104	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA283	Voladura Torre 105	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA284	Voladura Torre 106	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA285	Voladura Torre 107	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA286	Voladura Torre 108	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA287	Voladura Torre 109	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA288	Voladura Torre 110	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA289	Voladura Torre 111	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA290	Voladura Torre 112	2SC Y 2CC

Tipo de fuente	ID	Descripción	Escenario
AREA_POLY	PAREA291	Voladura Torre 113	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA292	Voladura Torre 114VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA293	Voladura Torre 115VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA294	Voladura Torre 116VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA295	Voladura Torre 117VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA296	Voladura Torre 118VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA297	Voladura Torre 119VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA298	Voladura Torre 133	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA299	Voladura Torre 134	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA300	Voladura Torre 135	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA301	Voladura Torre 139	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA302	Voladura Torre 120VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA303	Voladura Torre 121VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA304	Voladura Torre 122VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA305	Voladura Torre 123VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA306	Voladura Torre 124VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA307	Voladura Torre 125VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA308	Voladura Torre 126VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA309	Voladura Torre 127VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA310	Voladura Torre 128 VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA311	Voladura Torre 129VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA312	Voladura Torre 130VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA313	Voladura Torre 131VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA314	Voladura Torre 132VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA315	Voladura Torre 133VC	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA316	Voladura Torre 138A1	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA317	Voladura Torre 140A	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA318	Voladura Torre 140B	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA319	Voladura Torre 141BN	2SC Y 2CC
AREA_POLY	PAREA320	Voladura Torre 142B	2SC Y 2CC

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

Con relación a la Configuración del modelo, en la **Tabla 7-26** presenta las principales características de configuración del modelo AERMOD aplicado a la dispersión de contaminantes para las actividades del proyecto *Línea eléctrica de conexión parques eólicos Beta y Alpha a subestación Cuestecitas*.

Tabla 7-26 Ficha técnica modelo de dispersión de contaminantes.

Control		
Configuración: "Non Regulatory Default"	Tipos de salida	Concentración Total deposición
"Depletion options"		No
Opciones ("non regulatory")	"Terrain"	"Flat y elevated"
	"Variable emissions": 3 escenarios	
Contaminantes	Contaminante	Tiempo de ponderación
	PM ₁₀	24h/Anual
	PM _{2,5}	24h/Anual
	SO ₂	1h/24h
	NO _x	1h/Anual
Coeficientes de dispersión	CO	1h/8h
	rural	

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL LÍNEA ELÉCTRICA DE CONEXIÓN PARQUES EÓLICOS BETA Y ALPHA A SUBESTACIÓN CUESTECITAS	
Versión 2	Noviembre 2024	

Dominio		
Sistema de coordenadas	Local: Origen Nacional (CTM12)	
Esquina SW	4909198.38	2356480.23
Esquina NE	4971829.02	2419110.87
Opciones de Terreno		
Plano y elevado		
Fuentes de emisión (Anexo 1)		
Meteorología		
Archivo de Datos Meteorológicos de superficie SFC	2023	Calculados a partir de datos WRF
Archivo Perfil Meteorológico PFL	2023	Calculados a partir de datos WRF
Terreno		
SRTM1 / SRTM3		
Opciones		
Emisiones variables, Fastall; Cálculo de percentiles		

Fuente: Gestión y Medio Ambiente S.A.S. (2024).

7.8.12 Concentración de fondo

La concentración de fondo se determinó tomando como referencia los resultados de la campaña de monitoreo de calidad del aire realizada por el laboratorio Gestión y Medio Ambiente S.A.S. Dentro del marco de la caracterización del medio abiótico del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto “Línea eléctrica de conexión parques eólicos Beta y Alpha a subestación Cuestecitas”.

La campaña de monitoreo se efectuó entre los días 25 de septiembre y 29 de octubre de 2023 en 6 puntos representativos del área de influencia del proyecto donde se tomaron muestras de material particulado igual o menor a 10 micras (PM₁₀), material particulado igual o menor a 2.5 micras (PM_{2.5}), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), con muestreos diarios de 24 horas, monóxido de carbono (CO) en muestreo por una hora diaria durante los 18 días. Este programa se ejecutó conforme a lo establecido en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, adoptado mediante la Resolución 650 del 29 de marzo de 2010 y ajustado según la Resolución 2154 de noviembre de 2010, expedidas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

Para la determinación de la concentración de fondo a partir de los resultados de caracterización de calidad del aire se consideran las siguientes definiciones:

- La concentración de fondo se puede definir como aquel valor de concentración de contaminantes, determinado durante la caracterización de calidad del aire en estaciones de fondo; es decir, aquellas estaciones que se ubican vientos arriba de las fuentes de emisión presentes en el área del proyecto.
- La concentración de fondo también se podrá definir como aquella concentración de contaminantes en calidad del aire presente sin el aporte de carga contaminante proveniente de las actividades propias del proyecto durante cada una de sus etapas.

Para determinar la concentración de fondo se procedió a establecer la mediana como medida de tendencia central del conjunto de datos de la estación libre de la influencia de las fuentes de emisión presentes en las áreas cercanas del proyecto. Las estaciones de monitoreo del Sistema de Vigilancia de Calidad del aire implementado durante la campaña de monitoreo se presentan en la **Tabla 7-27**.

Tabla 7-27 Concentración de fondo establecida

CONCENTRACIÓN DE FONDO				
ESTACIÓN 2				
PM _{2.5}	PM ₁₀	NO _x	SO ₂	CO
8.40	21	38.7	13.23	1406.8

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

Dada la ubicación y representatividad espacial y los valores obtenidos de se selecciona la estación 2 como la estación de fondo. Las figuras presentan el comportamiento de los datos de contaminantes criterio SO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂ y CO respectivamente, para las tres estaciones del SVCA. La **Figura 7-32, Figura 7-33, Figura 7-34, Figura 7-35, Figura 7-36** presentan los datos particulares de la estación de fondo (estación 5).

Dicha estación, se considera como la estación de fondo debido a su ubicación relativa dentro del Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire SVCA tipo industrial. El método de análisis mencionado permite definir los valores típicos como aquellos ubicados entre los cuartiles Q₁ y Q₃; siendo la mediana (cuartil Q₂) la medida de tendencia central, de igual forma define como datos atípicos aquellos ubicados en los rangos delimitados entre el cuartil Q₀ y el cuartil Q₁, así como los datos ubicados entre los cuartiles Q₃ y Q₄.

Este método es relativamente sencillo; sin embargo, se ajusta a las cantidades limitadas de datos que presupone una campaña de monitoreo de 18 días; como las reglamentadas por Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire adoptado mediante la Resolución 650 del 29 de marzo de 2010 y ajustado según la Resolución 2154 de noviembre de 2010, expedidas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). Por otro lado, el método del diagrama de cajas y bigotes también permite descartar datos atípicos en un rango alto, los cuales no necesariamente representan errores en toma de muestra y análisis; pero pueden representar fenómenos puntuales presentes en las áreas de monitoreo que pueden sesgar los datos que representarán a las concentraciones de fondo. Los factores de sesgo podrán estar relacionados con actividades de la comunidad en la cercanía de la estación de fondo, flujos vehiculares inusuales, quemas de cobertura vegetal de origen antrópico o natural o diversos eventos que no necesariamente pueden ser predecibles y que se constituyen como variables de carácter aleatorio que pueden tener inferencia directa en los resultados obtenidos en las campañas de monitoreo realizadas en el marco del desarrollo de las actividades de los sistemas de vigilancia de calidad del aire tipo industrial utilizados en la caracterización de área influencia de los Estudios de Impacto Ambiental EIA.

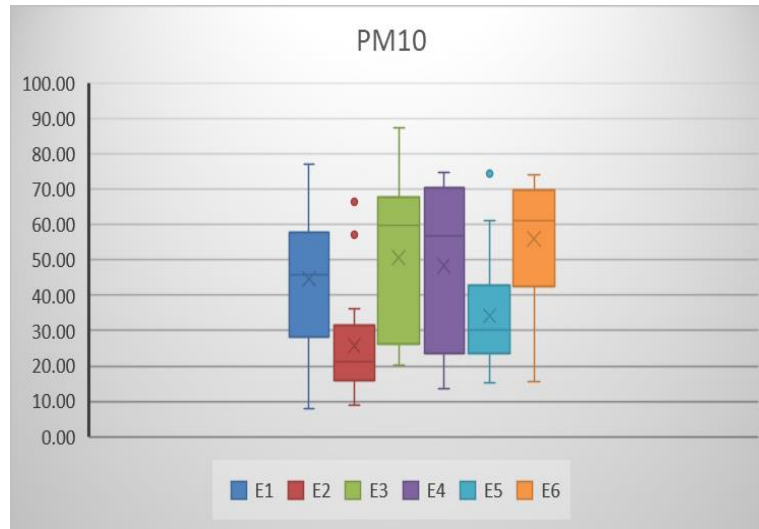


Figura 7-32 Diagramas de cajas y bigotes para resultados de PM10 de las 5 estaciones de muestreo.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

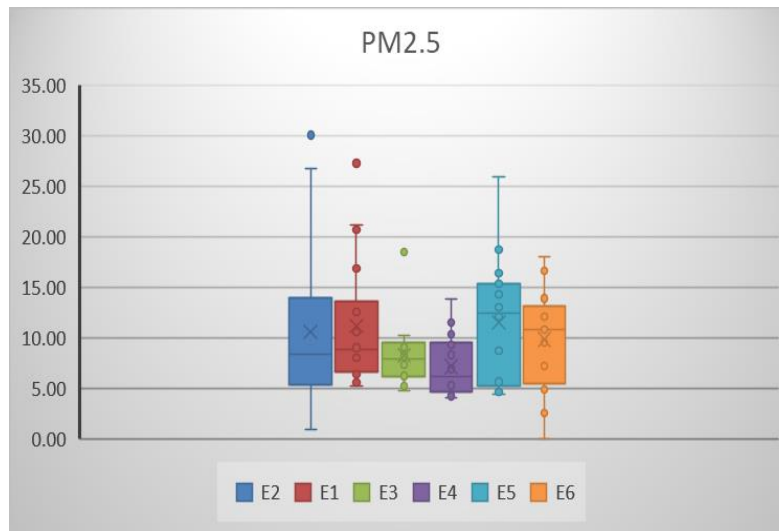


Figura 7-33 Diagrama de cajas y bigotes para resultados de PM2.5 de las 5 estaciones de muestreo

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

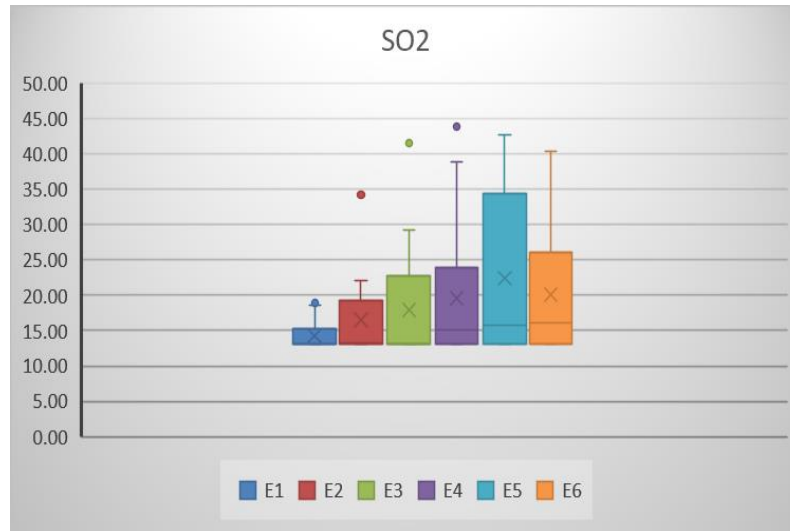


Figura 7-34 Diagramas de cajas y bigotes para resultados de SO2.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

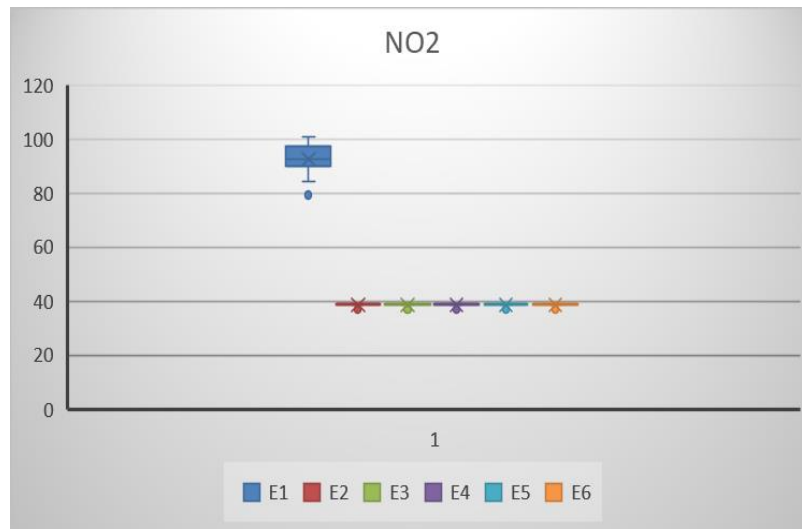


Figura 7-35 Diagrama de cajas y bigotes para resultados de NO2.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

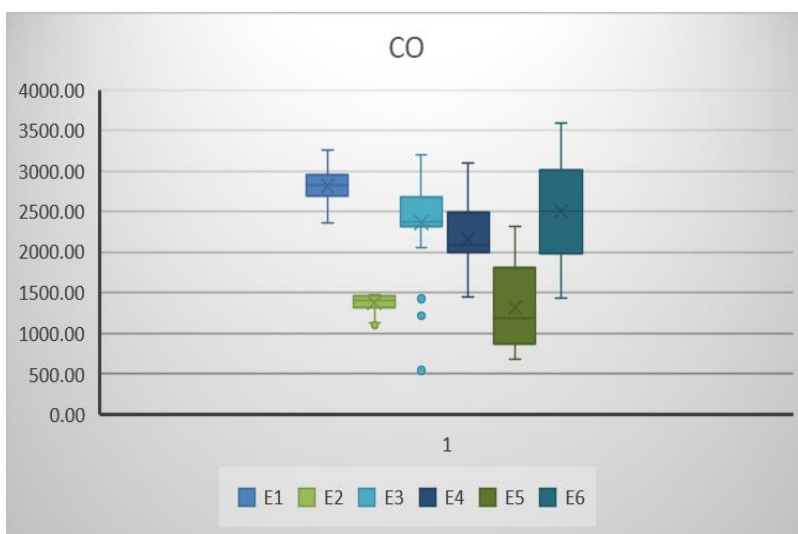


Figura 7-36 Diagrama de cajas y bigotes para resultados de CO.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

7.8.13 Resultados por escenario de modelación

Los resultados de la modelación corresponden a mapas de isoconcentración para cada contaminante evaluado dentro de la región cercana, en los tiempos de ponderación establecidos por la norma nacional de calidad del aire.

Con base en el inventario de fuentes de emisiones atmosféricas identificadas dentro del dominio de la modelación. Para la evaluación de cada contaminante y cada tiempo de exposición se realizan tres simulaciones:

- Simulación de dispersión de contaminantes del área de influencia; dicha simulación proyecta la calidad del aire sin proyecto.
- Simulación de dispersión de contaminantes que evalúa el aporte de las fuentes de emisión sobre la calidad del aire en el área de influencia, por las actividades de construcción y operación del proyecto *Línea eléctrica de conexión parques eólicos Beta y Alpha a subestación Cuestecitas.*, teniendo en cuenta que en esta NO se consideran medidas de control.
- Simulación de contaminantes que evalúa el aporte de las fuentes de emisión sobre la calidad del aire basada en las emisiones asociadas a la construcción y operación del proyecto *Línea eléctrica de conexión parques eólicos Beta y Alpha a subestación Cuestecitas* considerando la implementación de medidas de control.

La relación entre los resultados obtenidos por las tres (3) simulaciones permite establecer la magnitud del impacto del proceso sobre la calidad del aire.

Los resultados de la dispersión de emisiones de contaminantes criterio provenientes de la zona donde se efectuarán las actividades del proyecto *Línea eléctrica de conexión parques eólicos Beta y Alpha a subestación Cuestecitas*, determinados mediante AERMOD, para el área de influencia predicen aportes máximos sobre puntos ubicados sobre las vías, o bien sobre puntos donde inciden directamente las emisiones. Estos resultados no representan la calidad del aire dado que los puntos de máxima concentración tienden a ubicarse sobre las vías o sobre fuentes de área a nivel de la superficie donde se da la descarga directa de contaminantes a la atmósfera. Por lo anterior se

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL LÍNEA ELÉCTRICA DE CONEXIÓN PARQUES EÓLICOS BETA Y ALPHA A SUBESTACIÓN CUESTECITAS	
Versión 2	Noviembre 2024	

tomará como referencia para evaluar los efectos sobre la calidad del aire las coordenadas de ubicación de las estaciones del SVCA, así como las coordenadas de los puntos de interés seleccionados, los cuales corresponden a ubicaciones de áreas pobladas.

7.8.13.1 Escenario 1. Escenario base (Sin proyecto)

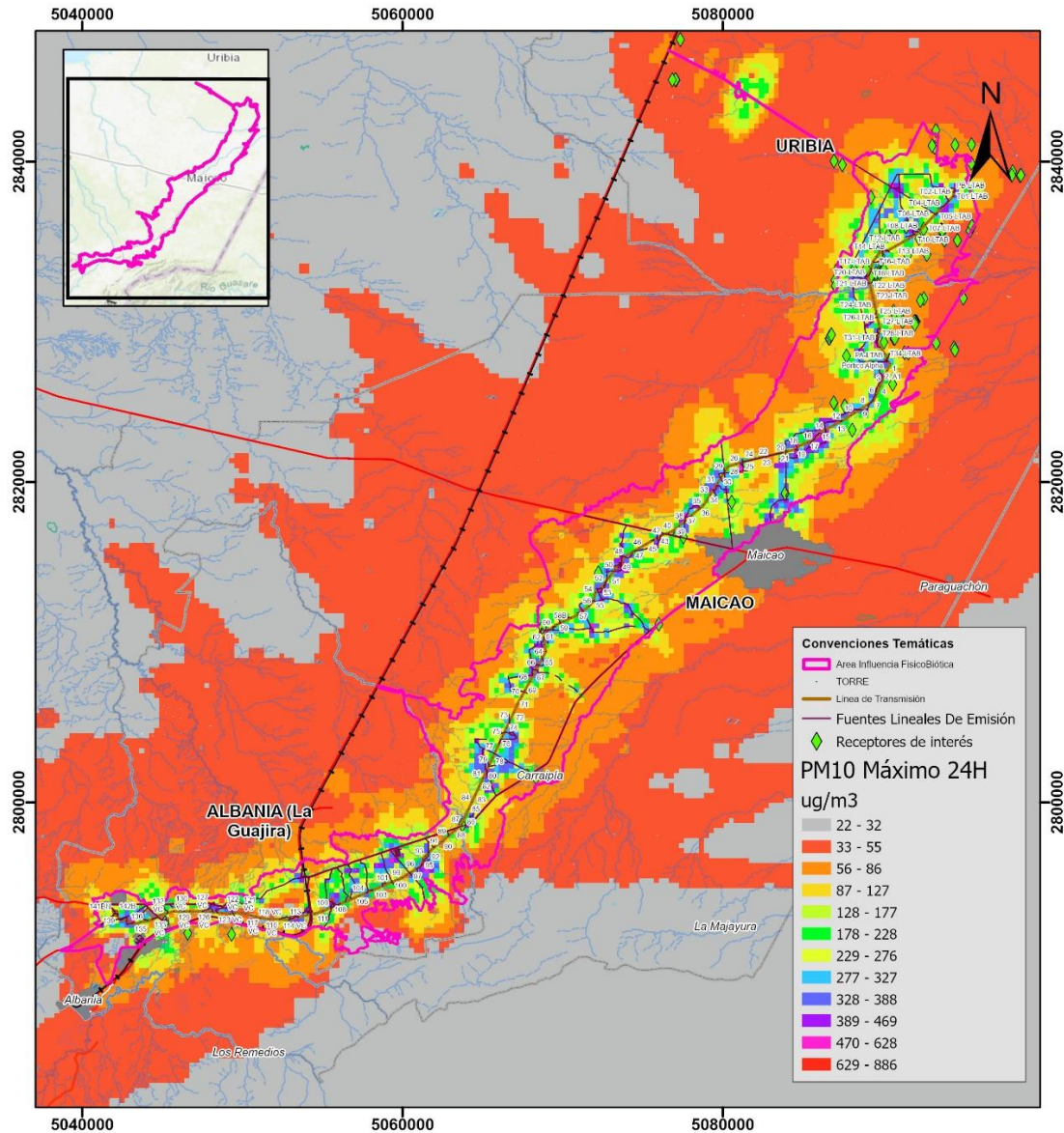
En el escenario 1 se verifica la magnitud del aporte en la calidad del aire de los contaminantes criterio por las emisiones dadas en la zona de estudio en el escenario base o sin proyecto, en tiempos de exposición aplicables de acuerdo con la norma nacional de calidad del aire (Resolución 2254 de 2017 del MADS).

7.8.13.1.1 Material particulado PM10

Como se indicó con antelación, para evaluar la calidad del aire proyectada por el modelo, se toman como referencia los receptores ubicados en los puntos de monitoreo de calidad del aire y en receptores ubicados en puntos de interés de la comunidad. La calidad del aire proyectada se calcula como la sumatoria del dato proyectado por el modelo en la métrica objeto de análisis y la concentración de fondo estimada. Para el periodo de exposición anual, se observa que, en la mayoría de los receptores de interés, las medidas de tendencia central de los datos de concentración de PM10 se mantiene por debajo de los límites máximos establecidos por la resolución 2254 de 2017 para dicha métrica, aun cuando se puedan presentar condiciones desfavorables de dispersión; hecho evidenciado en las isopletras que representan el promedio anual y el percentil 50 de las concentraciones diarias, así como en los diagramas de caja y bigotes. Se presentan valores que sobrepasan los 50 ug/m³ en algunas zonas del proyecto en la métrica máxima diaria (886ug/m³), esto se asocia a receptores que se encuentran muy cerca de las fuentes de emisión, en donde las líneas de isoconcentración van disminuyendo su valor rápidamente a medida que se aleja espacialmente de dichas fuentes.

La **Figura 7-37**, **Figura 7-38** y **Figura 7-39** presentan la cartografía temática de las salidas gráficas del modelo. Se observa que las mayores concentraciones de partículas PM10 en calidad del aire pueden ser percibidas sobre vías destapadas como principales fuentes de emisión en la simulación del escenario base.

La **Figura 7-40** presenta la calidad del aire estimada en gráficos box plot. En general este diagrama, así como las isopletras para la métrica media anual y percentil 50 indican una calidad del aire que típicamente cumplirá con los estándares de la Resolución 2254 de 2017 del MADS; aun cuando se puedan presentar condiciones desfavorables en la dispersión de los contaminantes. En este caso se observa una tendencia en los puntos que representan estaciones de calidad del aire a tomar valores cercanos a la concentración de fondo, lo que indica que los aportes de este contaminante en general son mínimos en este escenario, sin embargo, al ver los bigotes se tiene que hay posibilidad de presentar eventos puntuales de incrementos significativos respecto a la concentración de fondo. Este comportamiento puede asociarse a las condiciones de estabilidad, terreno, localización de los receptores y distribución de las fuentes de emisión existentes.



Calidad Del Aire Proyectada PM10 Máximo 24 H

Escenario de modelación Línea Base

Convenciones base cartográfica

Drenaje_Sencillo Lecho seco Via Tipo 2 Área Urbana
 Drenaje_Doble Via_Ferrea Via Tipo 1 Via Tipo 3 Límite Municipal

Escala: 1:320,000

5 3 0 5 Km.

Sistema de Coordenadas
MAGNA Colombia CTM12

LÍNEA ELÉCTRICA DE CONEXIÓN PARQUES EÓLICOS BETA Y ALPHA A LA SUBESTACIÓN CUESTECITAS

Figura 7-37

Calidad del Aire Proyectada PM₁₀ máximo diario, Escenario 1.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

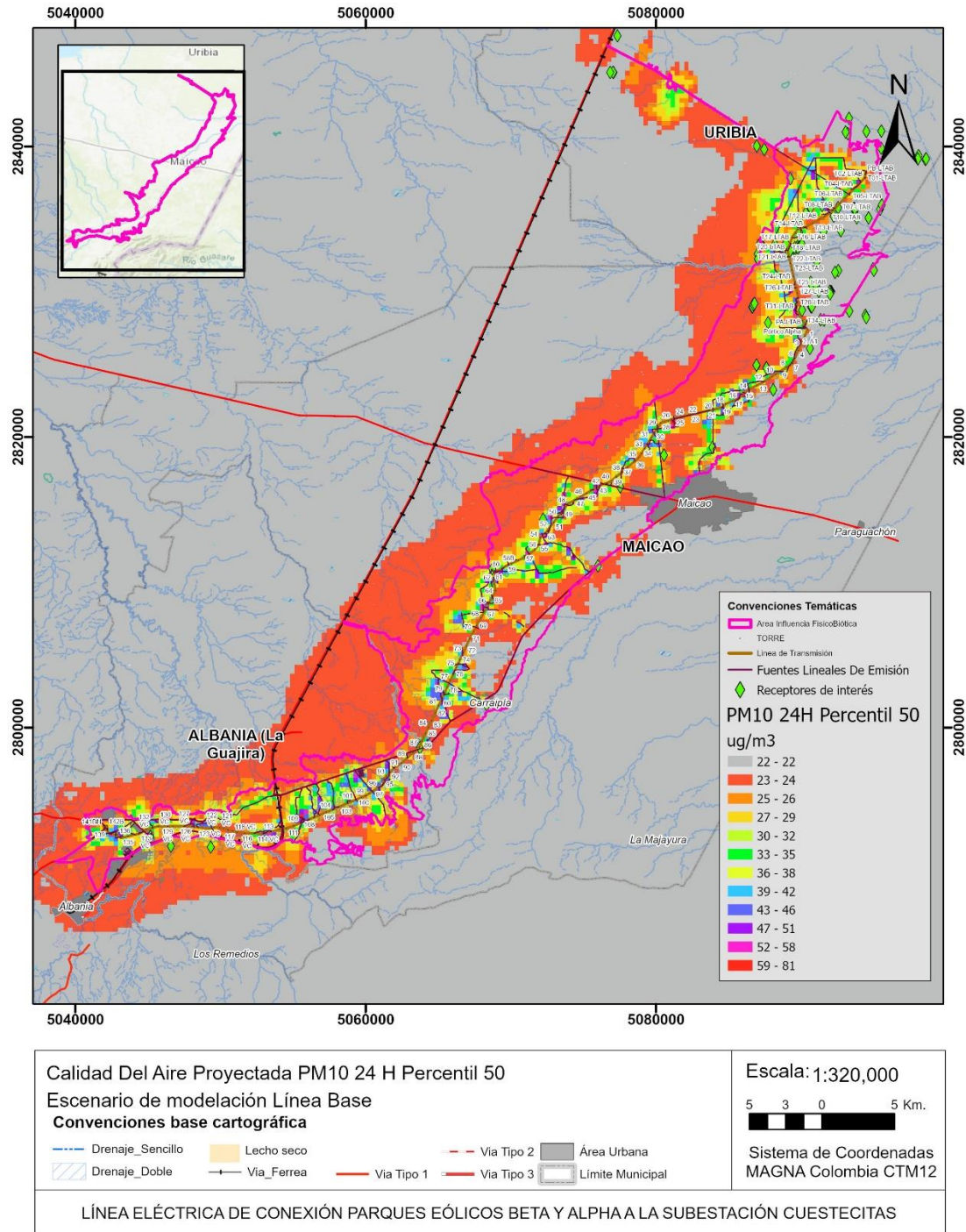


Figura 7-38 Calidad del aire PM10 proyectado percentil 50 de los datos diarios, Escenario 1
FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

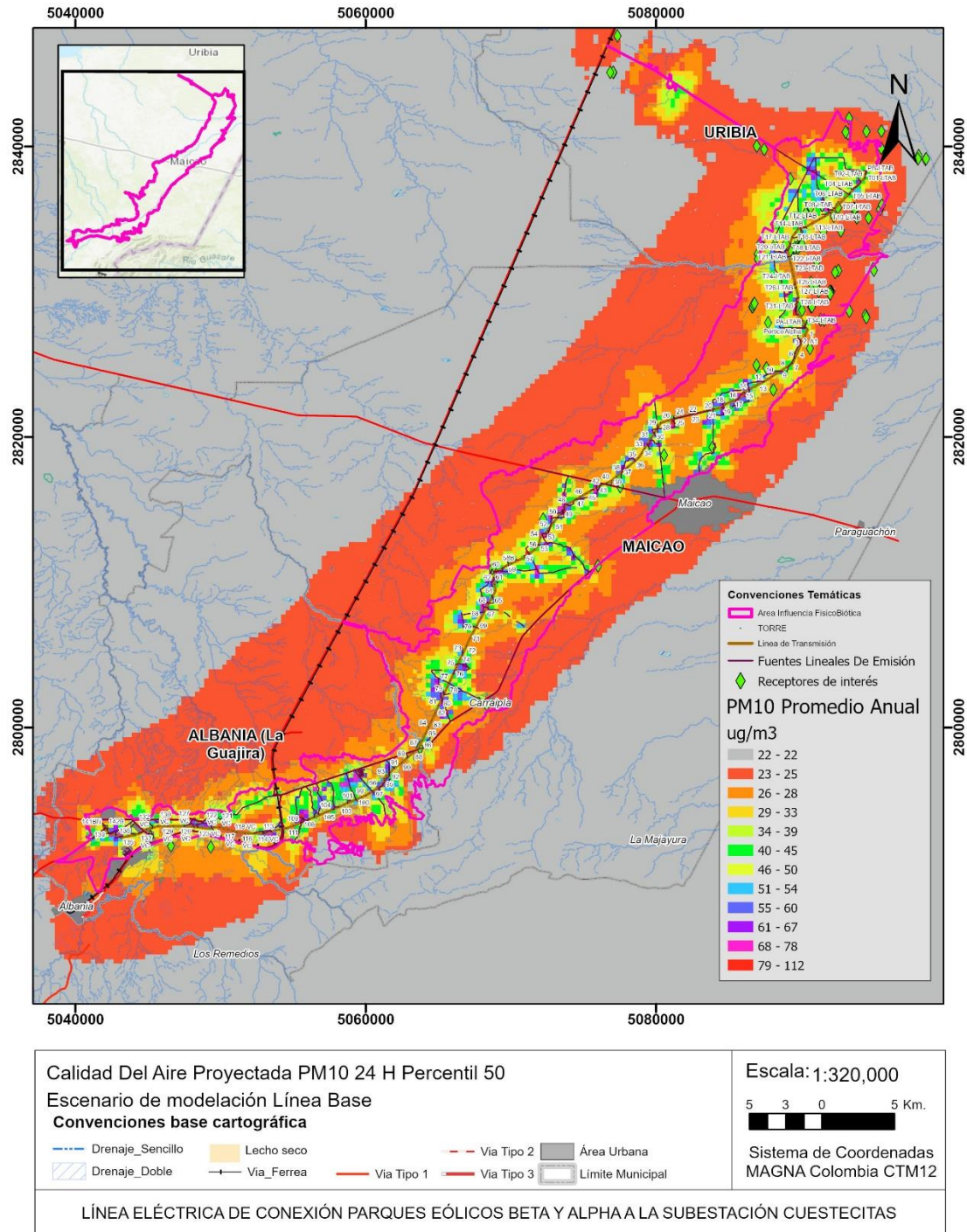
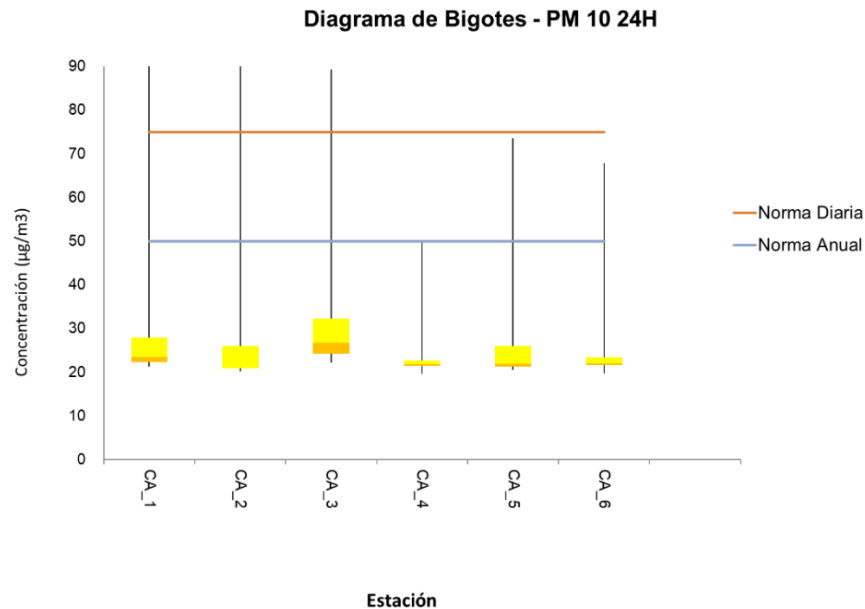


Figura 7-39

Calidad del Aire Proyectada PM10 Promedio Anual, Escenario 1.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024



Nombre de la estación	Concentración (µg/m3)				
	P1	P25	P50	P75	P100
MÁXIMO	169.01	264.27	344.09	461.56	1880.30
CA_1	21.35	22.34	23.55	27.94	132.55
CA_2	20.19	21.00	21.00	25.98	110.34
CA_3	22.20	24.31	26.77	32.26	89.31
CA_4	19.61	21.48	21.81	22.72	49.73
CA_5	20.58	21.33	21.89	25.96	73.58
CA_6	19.70	21.71	22.11	23.44	67.84

Figura 7-40 Diagramas de cajas y bigotes para los datos de concentración horarios de PM10 proyectados por el modelo de dispersión de contaminantes en estaciones del SVCAI. (Concentración de fondo incluida).

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

7.8.13.1.2 Material particulado PM 2.5

Para el periodo de exposición anual, se observa que, en todos los receptores de interés, las medidas de tendencia central de los datos de concentración de PM 2,5 indican que se cumplirá con los límites máximos establecidos por la resolución 2254 de 2017 del MADS para dicha métrica. Para el periodo de exposición diario, se observan concentraciones máximas de 108 µg/m3 que se asocia a receptores de cálculo ubicados en zonas cercanas a las fuentes de emisión en conjunto con eventos climáticos que dificultan la dispersión de contaminantes.

La **Figura 7-41**, **Figura 7-42** y **Figura 7-43** presentan la cartografía temática de las salidas gráficas del modelo. Se observa que las mayores concentraciones de partículas PM2,5 en calidad del aire pueden ser percibidas mayormente en las vías destapadas distribuidas en los laterales de la zona

del proyecto, estas se constituyen como principales fuentes de emisión en la simulación del escenario base.

La **Figura 7-44** presenta la calidad del aire estimada en gráficos box plot. En general el diagrama de box plot, así como las isopletas para la métrica media anual y percentil 50 indican una calidad del aire que cumplirá con los estándares de la Resolución 2254 de 2017 del MADS; al igual que las isopletas correspondientes al máximo diarios, así como los percentiles 100 del box plot no establecen riesgos de incumplimiento de la norma anual, tampoco de incumplirse la norma diaria. En este caso se observa una tendencia en los puntos que representan estaciones de calidad del aire a tomar valores cercanos a la concentración de fondo, lo que indica que los aportes de este contaminante en general son mínimos en este escenario. Este comportamiento puede asociarse a las condiciones de estabilidad, terreno, localización de los receptores y distribución de las fuentes de emisión existentes.

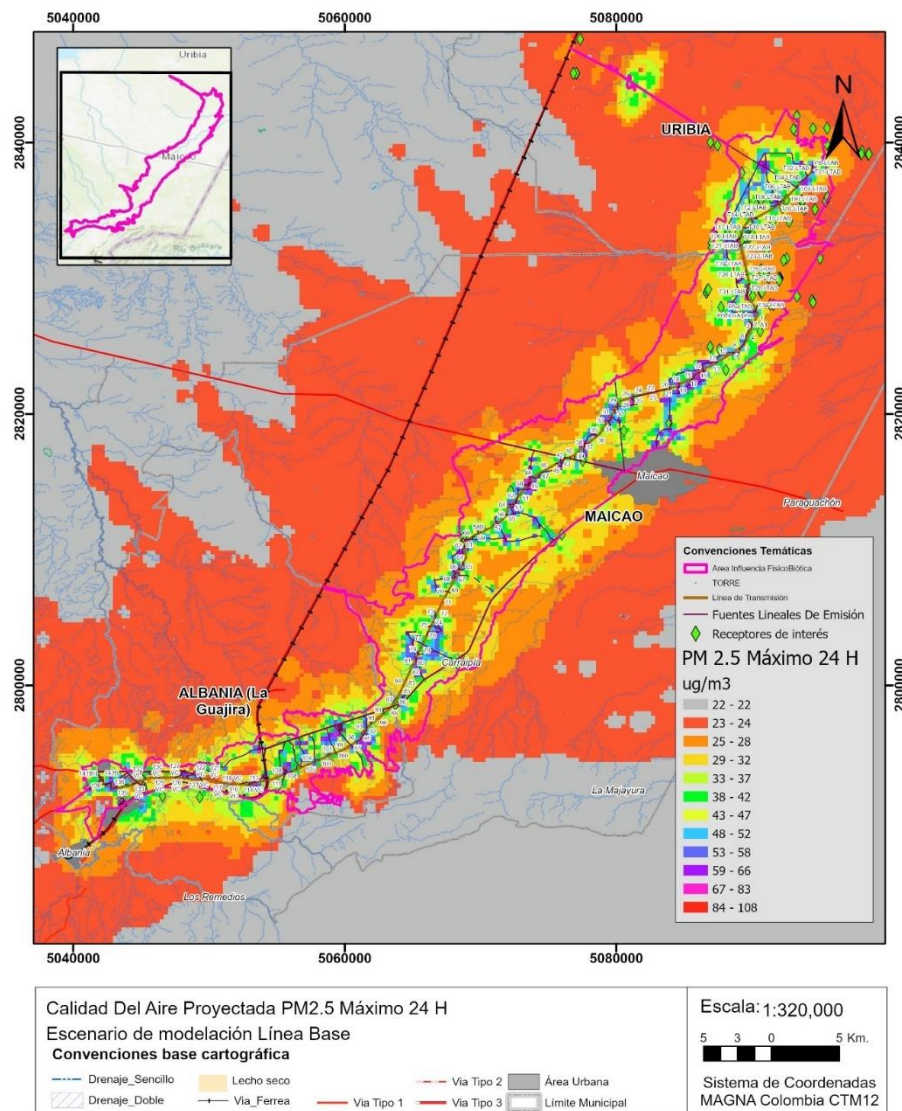


Figura 7-41

Calidad del Aire Projectada PM2.5 máximo diario, Escenario 1

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

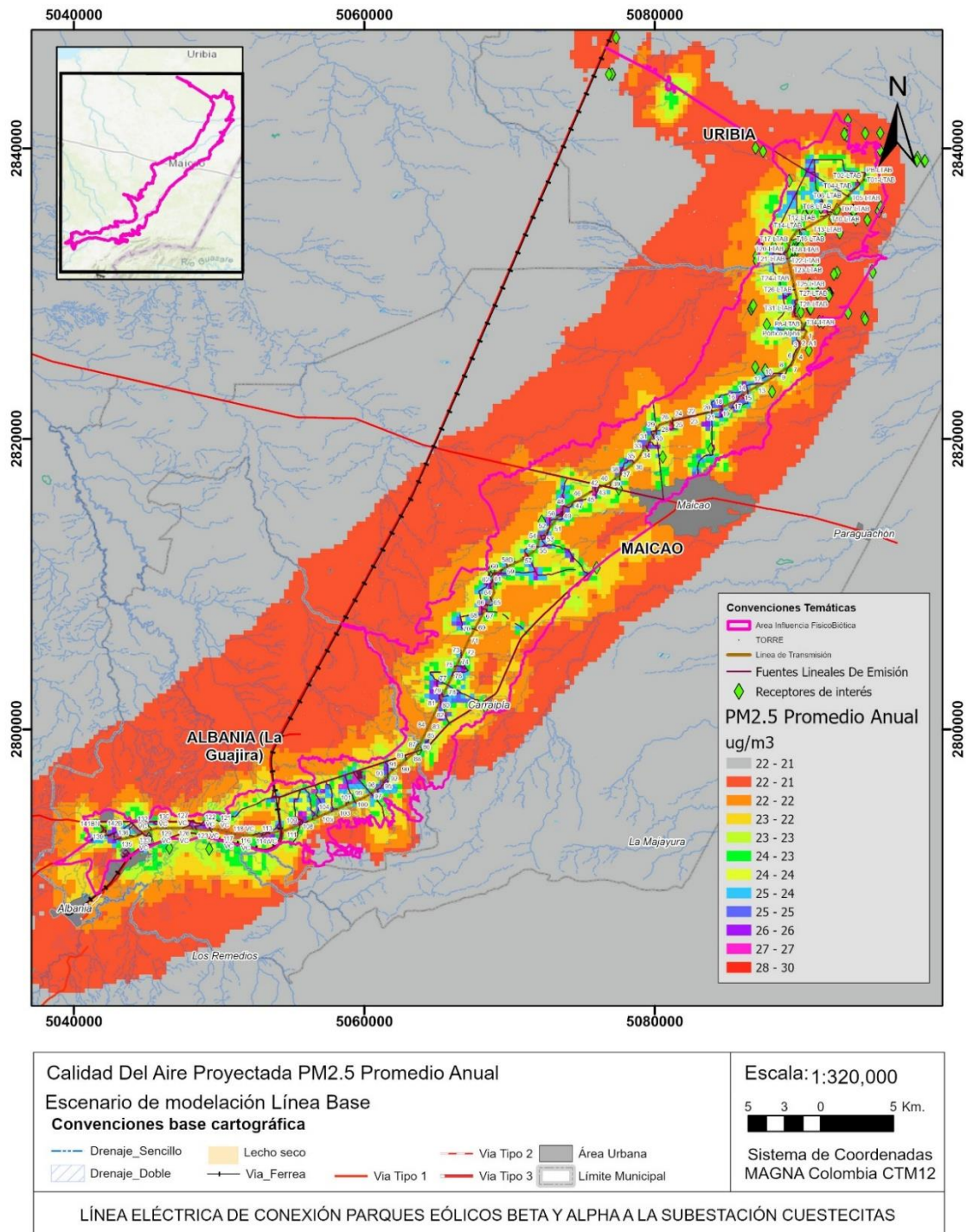


Figura 7-42

Calidad del Aire Proyectada PM2.5 Promedio Anual, Escenario 1.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

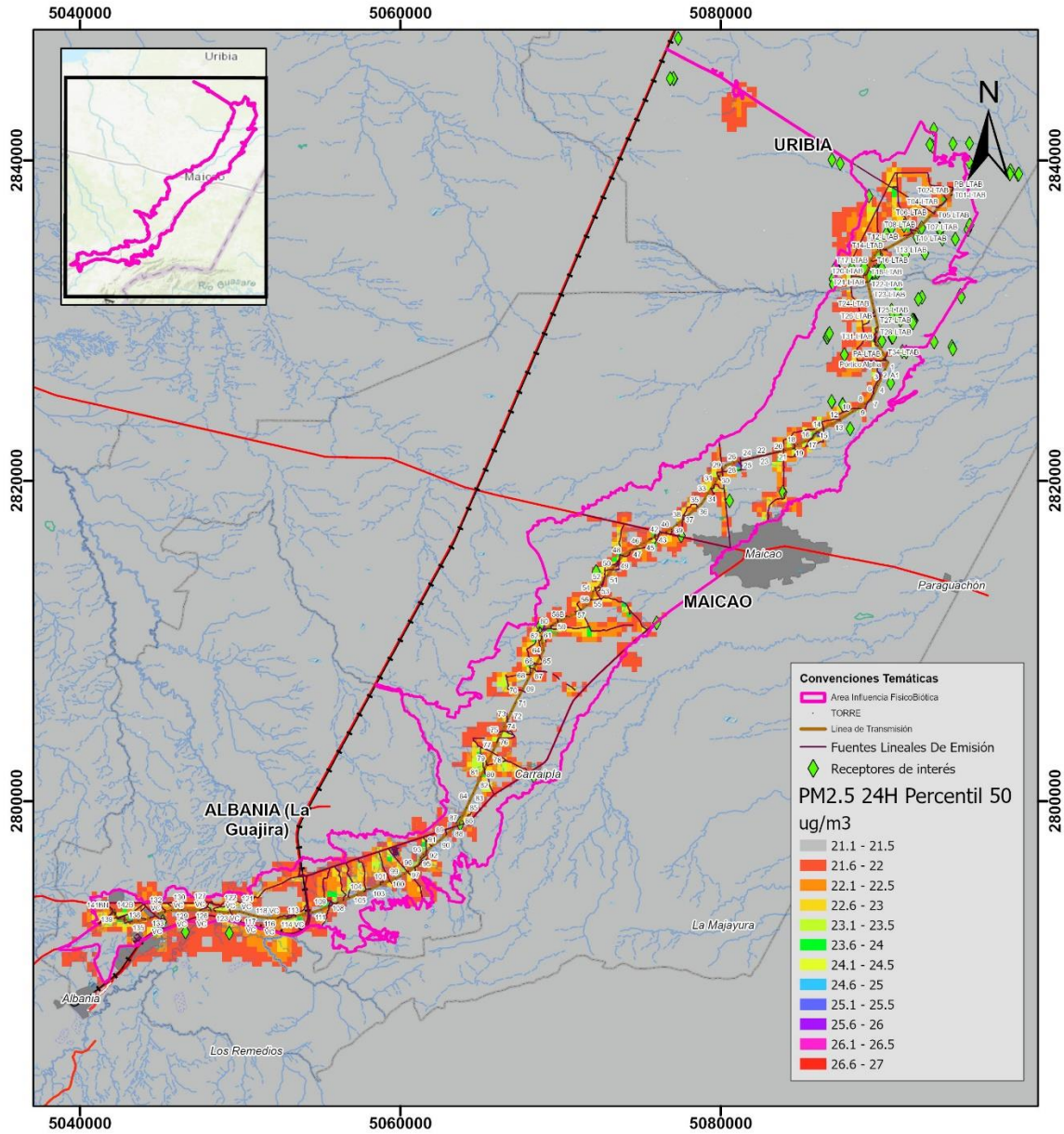
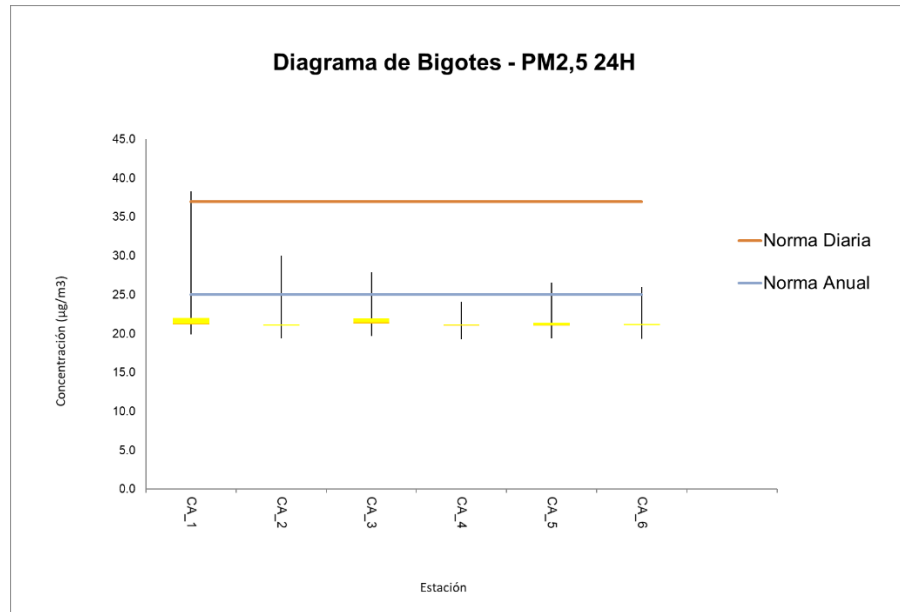


Figura 7-43

Calidad del aire PM2.5 proyectado percentil 50 de los datos diarios, Escenario 1

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024



Nombre de la estación	Concentración (µg/m3)				
	P1	P25	P50	P75	P100
MÁXIMO	36.36	45.45	53.87	65.38	208.44
CA_1	19.92	21.19	21.34	22.01	38.27
CA_2	19.39	21.00	21.00	21.18	30.00
CA_3	19.67	21.31	21.48	21.92	27.88
CA_4	19.28	21.05	21.09	21.17	24.04
CA_5	19.37	21.03	21.07	21.38	26.55
CA_6	19.30	21.07	21.12	21.25	25.94

Figura 7-44 Diagramas de cajas y bigotes para los datos de concentración horarios de PM2.5 proyectados por el modelo de dispersión de contaminantes en estaciones del SVCAI. (Concentración de fondo incluida)

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

7.8.13.1.3 Dióxido de azufre

Para las métricas horarias y diarias, la simulación indica que la concentración de dióxido de azufre SO₂ se cumplirá con los límites máximos establecidos por la resolución 2254 de 2017 del MADS aún en las peores circunstancias de dispersión.

La **Figura 7-45**, **Figura 7-46**, **Figura 7-47** y **Figura 7-48** presentan la cartografía temática de las salidas gráficas del modelo. Se observa que las mayores concentraciones de SO₂ en calidad del aire pueden ser percibidas sobre las vías municipales en donde circula la flota vehicular propia de la zona, y que se constituyen como principales fuentes de emisión en la simulación del escenario base.

La Figura 7-49 y Figura 7-50 presentan la calidad del aire estimada en gráficos box plot. En general el diagrama de box plot, así como las isopletas para la métrica máxima horaria y máxima diaria, indican una calidad del aire con concentraciones muy bajas de SO₂ que típicamente cumplirá con los estándares de la Resolución 2254 de 2017 del MADS. En este caso se observa una tendencia en los puntos que representan estaciones de calidad del aire a tomar valores cercanos a la concentración de fondo, lo que indica que los aportes de este contaminante en general son mínimos en este escenario. Este comportamiento puede asociarse a las condiciones de estabilidad, terreno, localización de los receptores y distribución de las fuentes de emisión existentes.

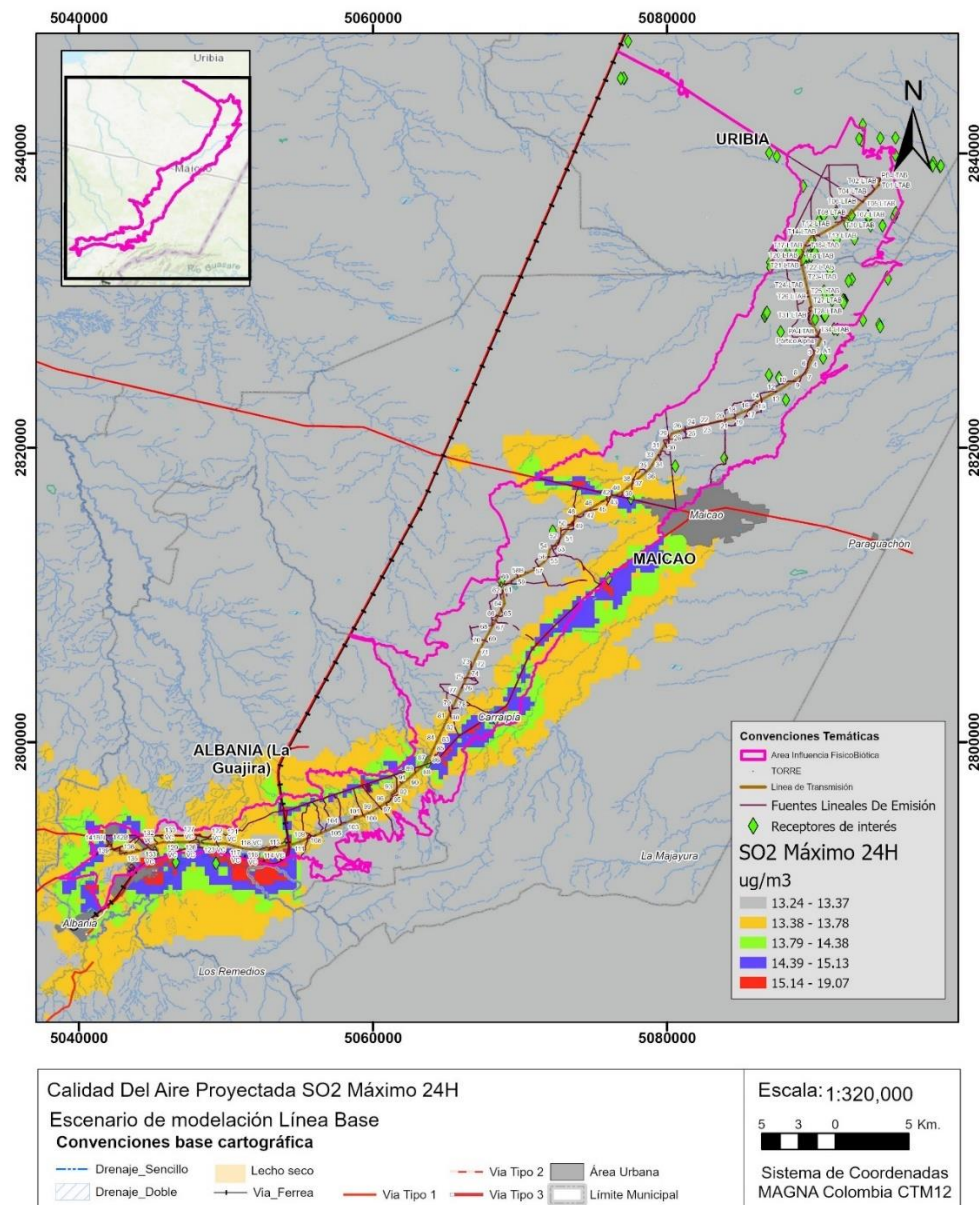


Figura 7-45 Calidad del Aire Proyectada SO₂ 24 Horas, Escenario 1.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024



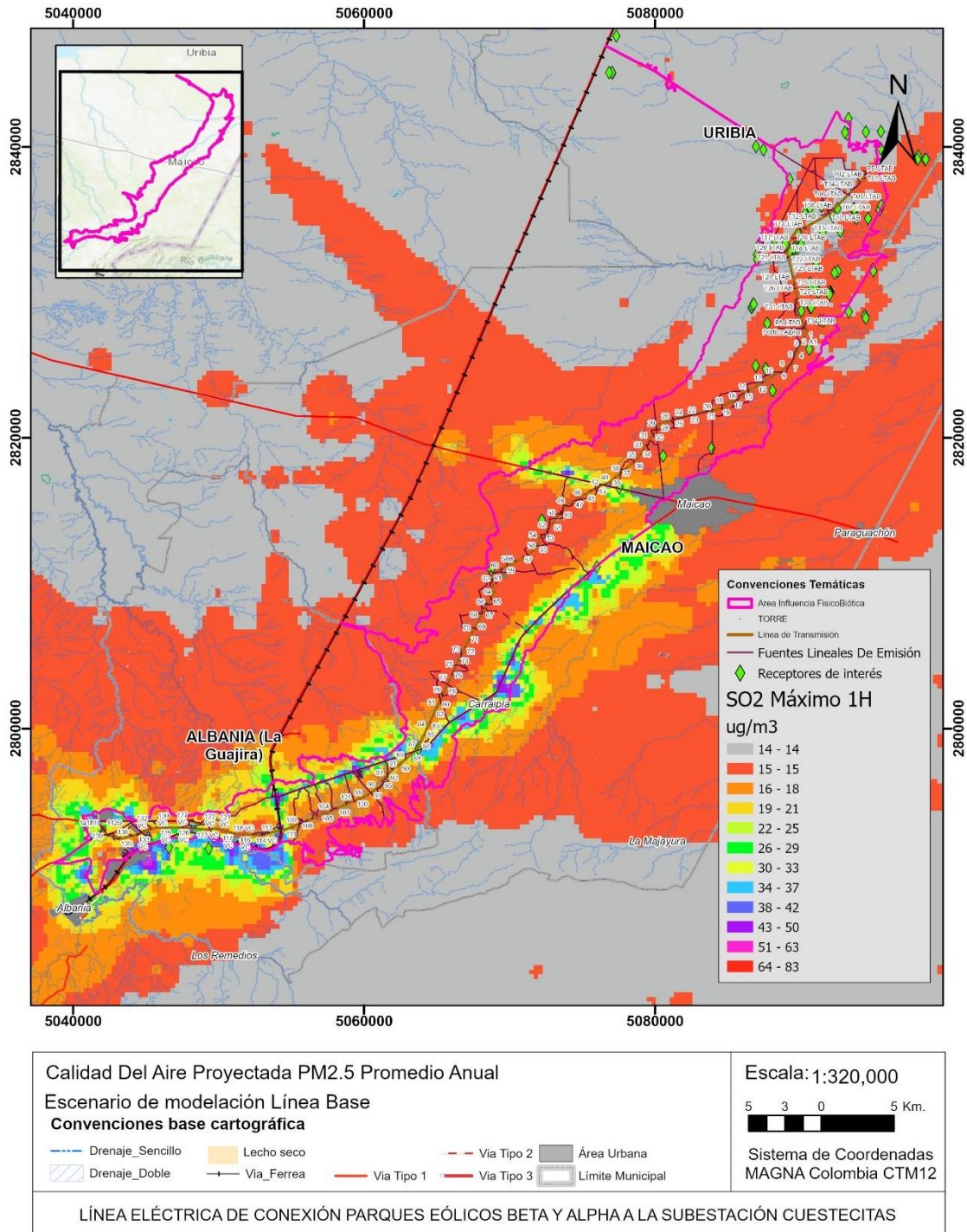


Figura 7-47 Calidad del Aire SO2 Proyectado 1 hora, Escenario 1.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

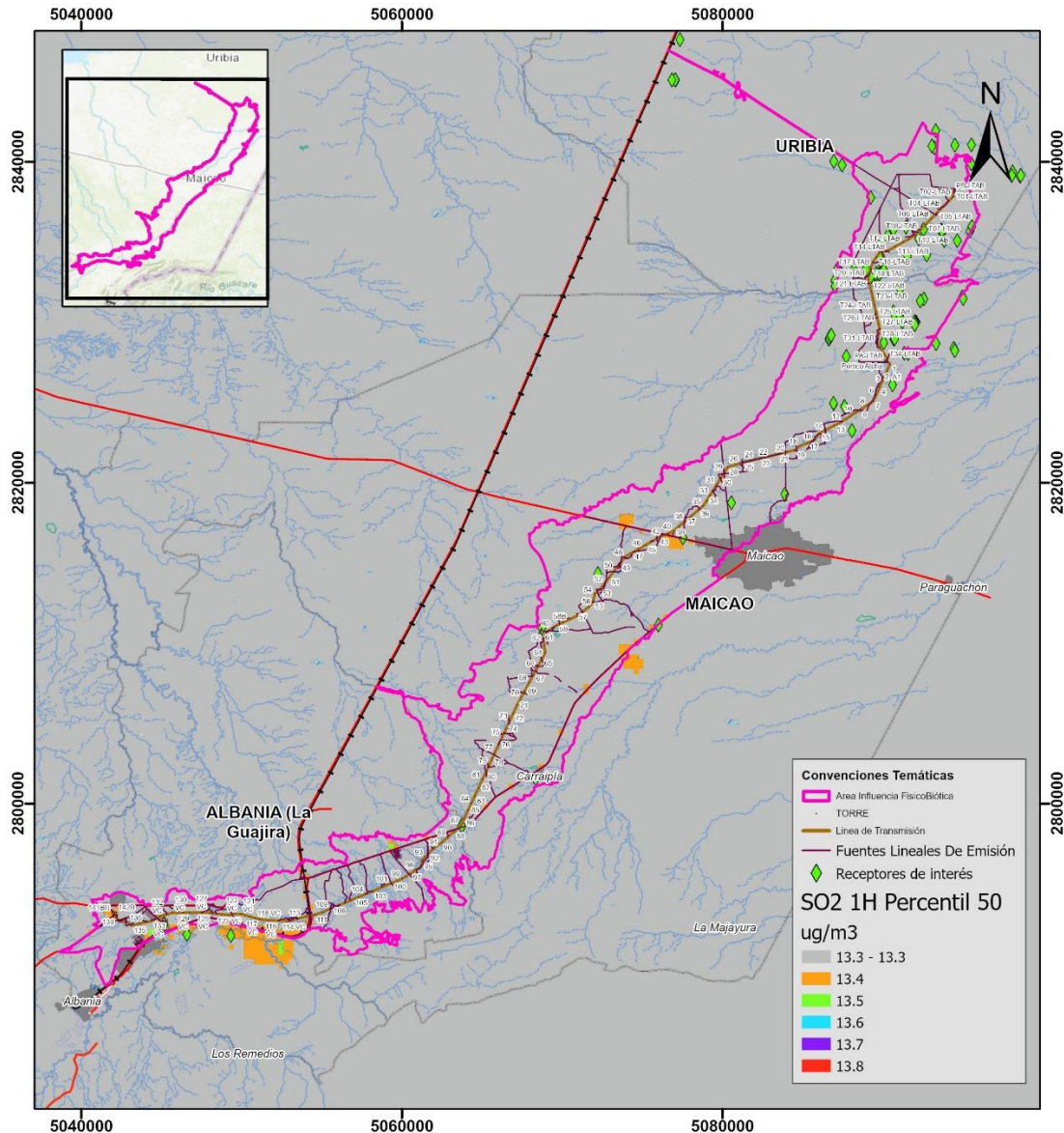
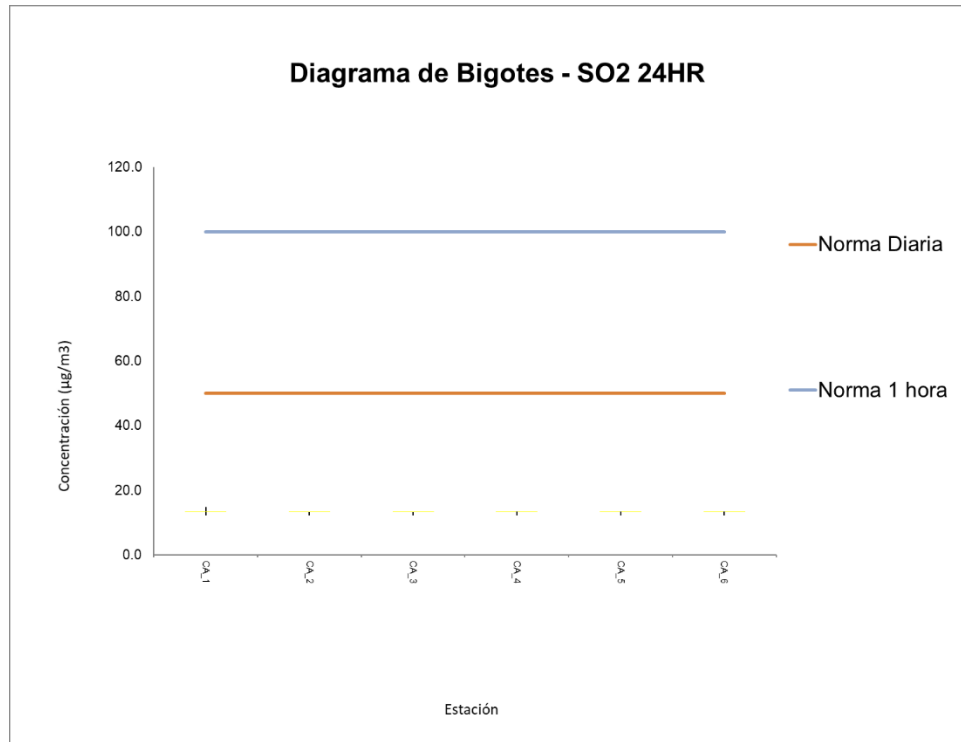


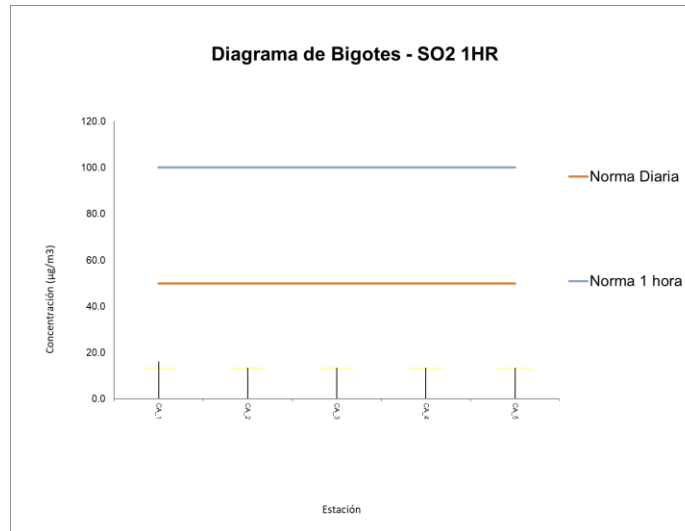
Figura 7-48 Calidad del aire. SO2 proyectado percentil 50 de los datos horarios, Escenario 1
FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024



Nombre de la estación	Concentración (µg/m3)				
	P1	P25	P50	P75	P100
MÁXIMO	10.0	11.1	11.5	11.8	13.6
CA_1	9.6	10.5	11.0	11.0	11.0
CA_2	9.6	10.5	11.0	11.0	11.0
CA_3	9.6	10.6	11.0	11.0	11.1
CA_4	9.6	10.6	11.0	11.0	11.1
CA_5	9.6	10.5	11.0	11.0	11.0
CA_6	10.0	11.1	11.5	11.8	13.6

Figura 7-49 Diagramas de cajas y bigotes para los datos de concentración diarios de SO₂ 24H proyectados por el modelo de dispersión de contaminantes en estaciones del SVCAI. (Concentración de fondo incluida)

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024



Nombre de la estación	Concentración (µg/m ³)				
	P1	P25	P50	P75	P100
MÁXIMO	13.3	14.0	15.1	16.0	185.1
CA_1	13.2	13.2	13.2	13.3	34.1
CA_2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.6
CA_3	13.2	13.2	13.2	13.2	13.5
CA_4	13.2	13.2	13.2	13.2	13.9
CA_5	13.2	13.2	13.2	13.2	14.3
CA_6	13.2	13.2	13.2	13.2	14.4

Figura 7-50 Diagramas de cajas y bigotes para los datos de concentración diarios de SO₂ 1H proyectados por el modelo de dispersión de contaminantes en estaciones del SVCAI. (Concentración de fondo incluida)

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

7.8.13.1.4 Dióxido de Nitrógeno

Para el periodo de exposición anual, se observa que, en todos los receptores de interés, las medidas de tendencia central de los datos de concentración de NO₂ indican que se cumplirá con los límites máximos establecidos por la resolución 2254 de 2017 del MADRS para dicha métrica. En todo caso, los episodios en los cuales incrementa la concentración de NO₂, se consideran eventos ocasionales poco representativo de la calidad del aire de la zona, hecho evidenciado en las isopletras que representan el promedio anual y el máximo de las concentraciones horarias, así como en los diagramas de caja y bigotes.

La **Figura 7-51**, **Figura 7-52** y **Figura 7-53** presentan la cartografía temática de las salidas gráficas del modelo. Se observa que las mayores concentraciones de NO₂ en calidad del aire pueden ser

percibidas sobre vía nacional, la cual posee un elevado flujo vehicular dada su propia naturaleza, esta vía se constituye como la principal fuente de emisión de este contaminante en la simulación del escenario base.

La **Figura 7-54** presenta la calidad del aire estimada en gráficos box plot. En general el diagrama de box plot, así como las isopletras para la métrica media anual y máxima horaria indican una calidad del aire que típicamente cumplirá con los estándares de la Resolución 2254 de 2017 del MADS. En este caso se observa una tendencia en los puntos que representan estaciones de calidad del aire a tomar valores cercanos a la concentración de fondo, lo que indica que los aportes de este contaminante en general son mínimos en este escenario. Este comportamiento puede asociarse a las condiciones de estabilidad, terreno, localización de los receptores y distribución de las fuentes de emisión existentes

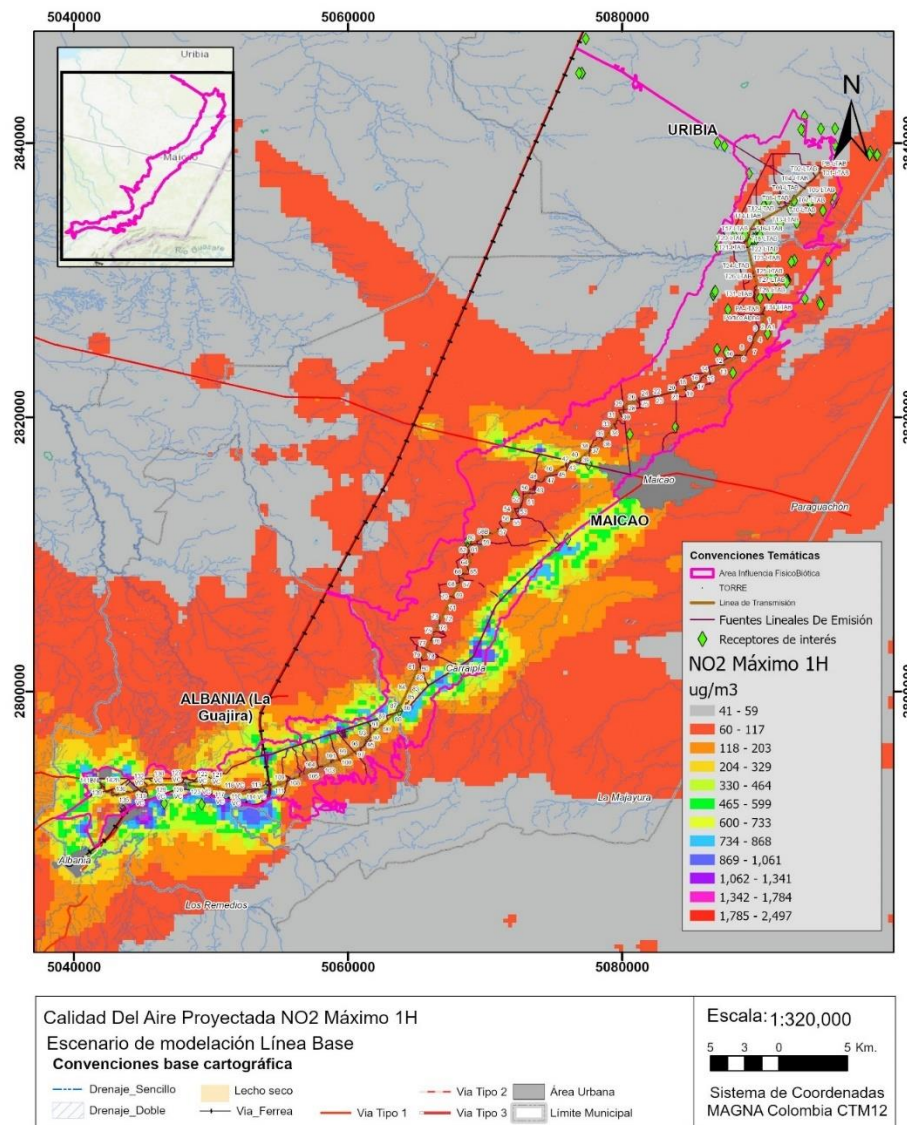


Figura 7-51

Calidad del Aire Proyectada NO2 1 Hora, Escenario 1.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

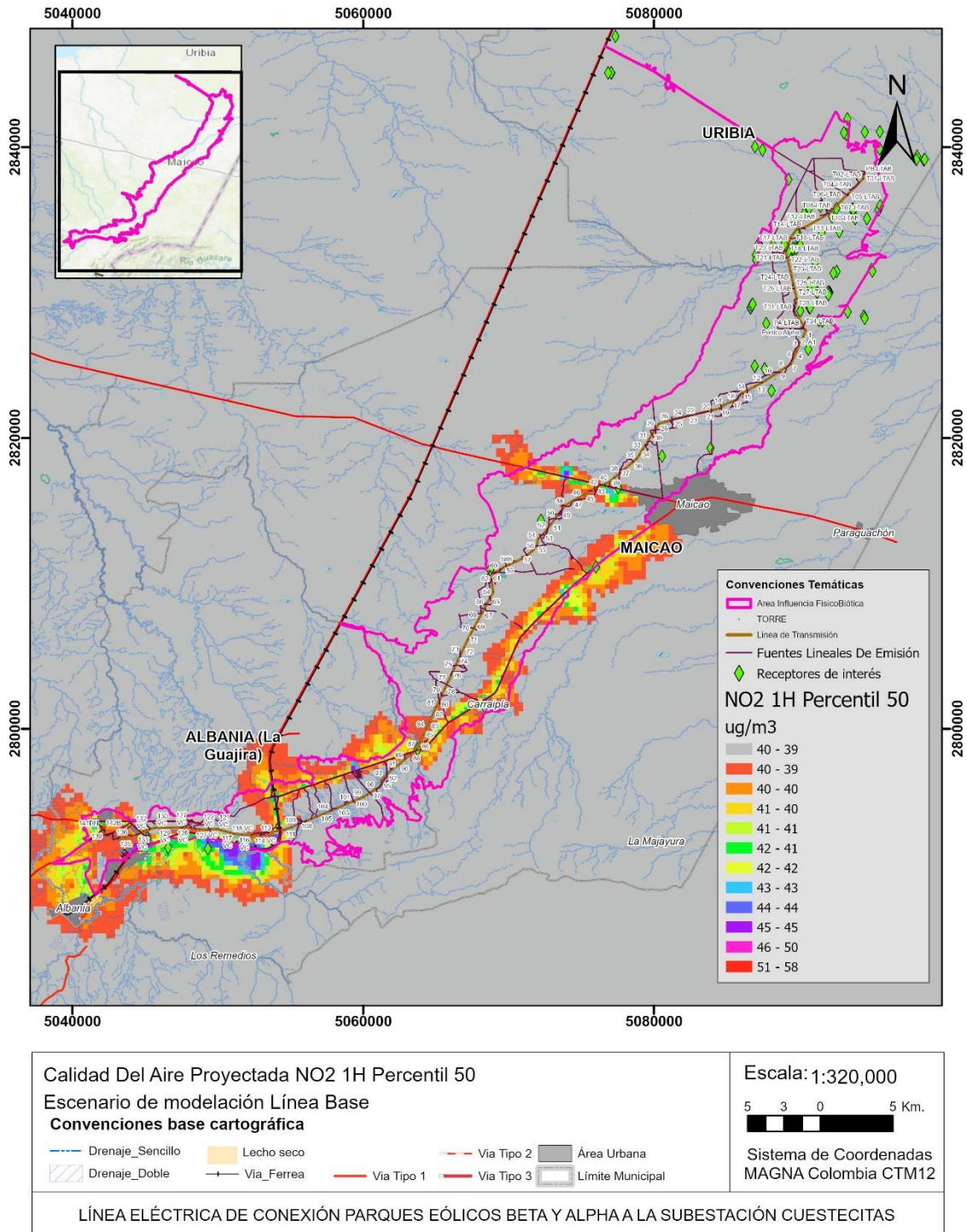


Figura 7-52

Calidad del Aire Proyectada NO2 1Hora percentil 50, Escenario 1.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

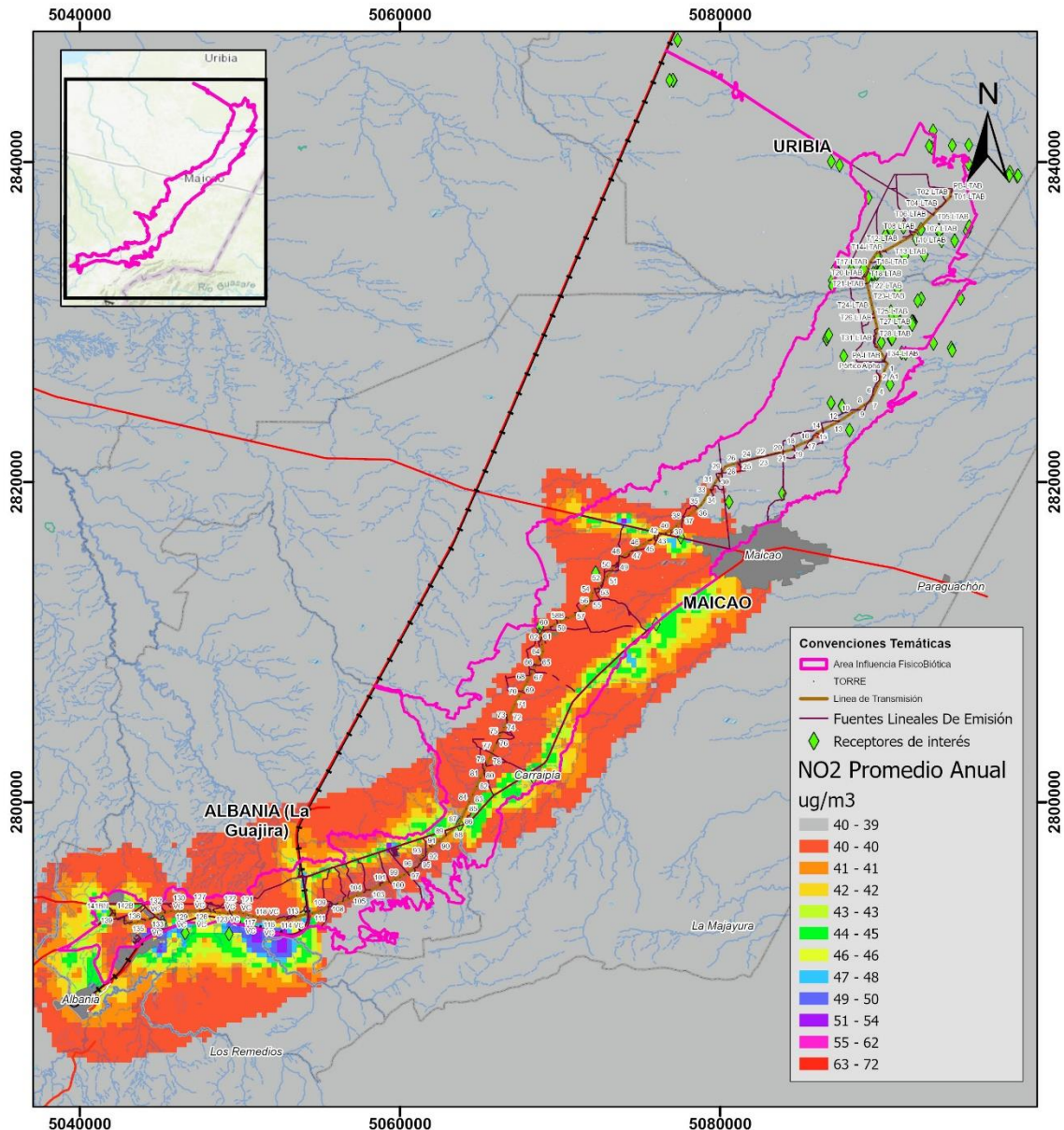
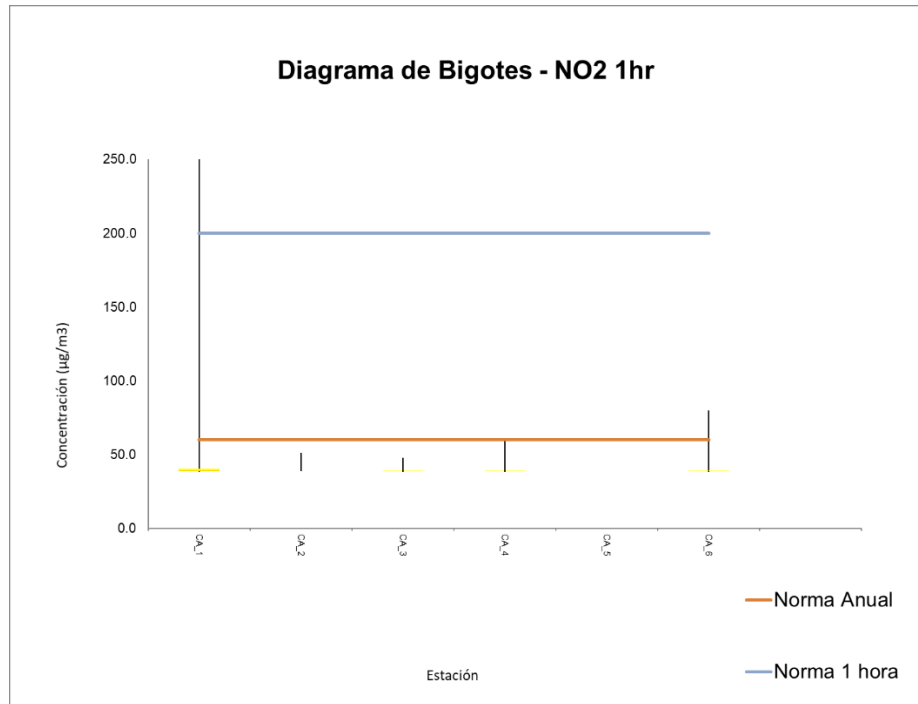


Figura 7-53

Calidad del Aire Proyectada SO2 Promedio Anual, Escenario 1

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024



Nombre de la estación	Concentración (µg/m3)				
	P1	P25	P50	P75	P100
MÁXIMO	39.56	65.41	103.63	138.32	6114.20
CA_1	38.70	38.77	38.95	40.21	775.40
CA_2	38.70	38.70	38.70	38.70	51.30
CA_3	38.70	38.70	38.71	38.73	47.64
CA_4	38.70	38.70	38.73	38.79	61.02
CA_5	38.70	38.71	38.75	38.89	74.79
CA_6	38.70	38.71	38.75	38.87	79.66

Figura 7-54 Diagramas de cajas y bigotes para los datos de concentración en 1H de NOx proyectados por el modelo de dispersión de contaminantes en estaciones del SVCAI. (Concentración de fondo incluida).

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

7.8.13.1.5 Monóxido de Carbono

Para las métricas horaria y octoraria, la simulación indica que la concentración de monóxido de carbono cumplirá con los límites máximos establecidos por la resolución 2254 de 2017 del MADS aún en las peores circunstancias de dispersión. En ninguno de los receptores tomado como referencia, se esperan incrementos de concentración de contaminantes a corto plazo.

La **Figura 7-55**, **Figura 7-56**, **Figura 7-57** y **Figura 7-58** presentan la cartografía temática de las salidas gráficas del modelo. Se observa que las mayores concentraciones de CO en calidad del aire

pueden ser percibidas sobre vías sobre las cuales circula la flota vehicular, que se constituye como la principal fuente de emisión en la simulación del escenario base.

La Figura 7-59 y Figura 7-60 presentan la calidad del aire estimada en gráficos box plot. En general el diagrama de box plot, así como las isopletras para la métrica máxima horaria y máxima octoraria indican una calidad del aire con concentraciones muy bajas de CO₂ que cumplirá con los estándares de la Resolución 2254 de 2017 del MADS, sin probabilidad de riesgos por incremento de la concentración de dicho contaminante.

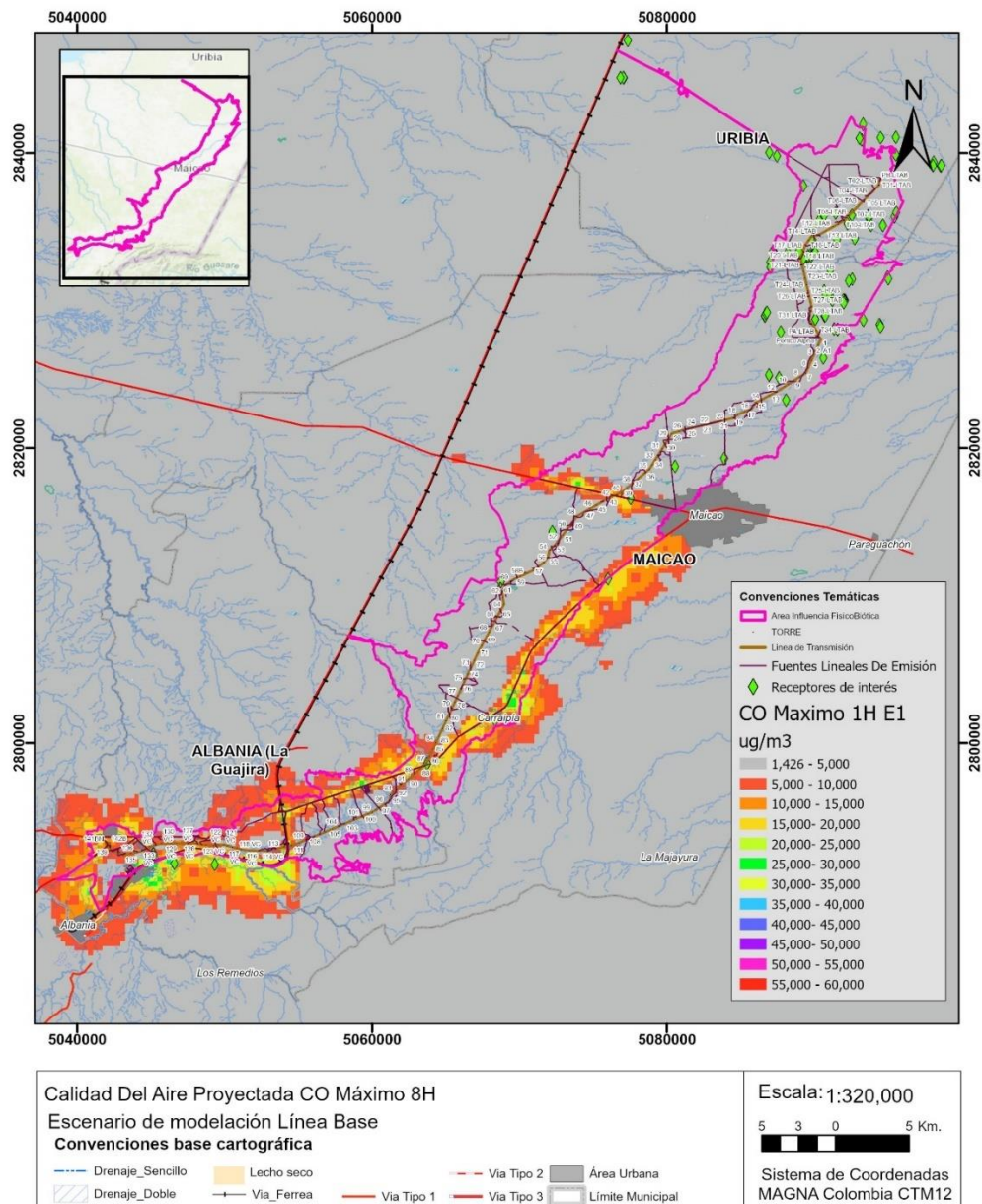
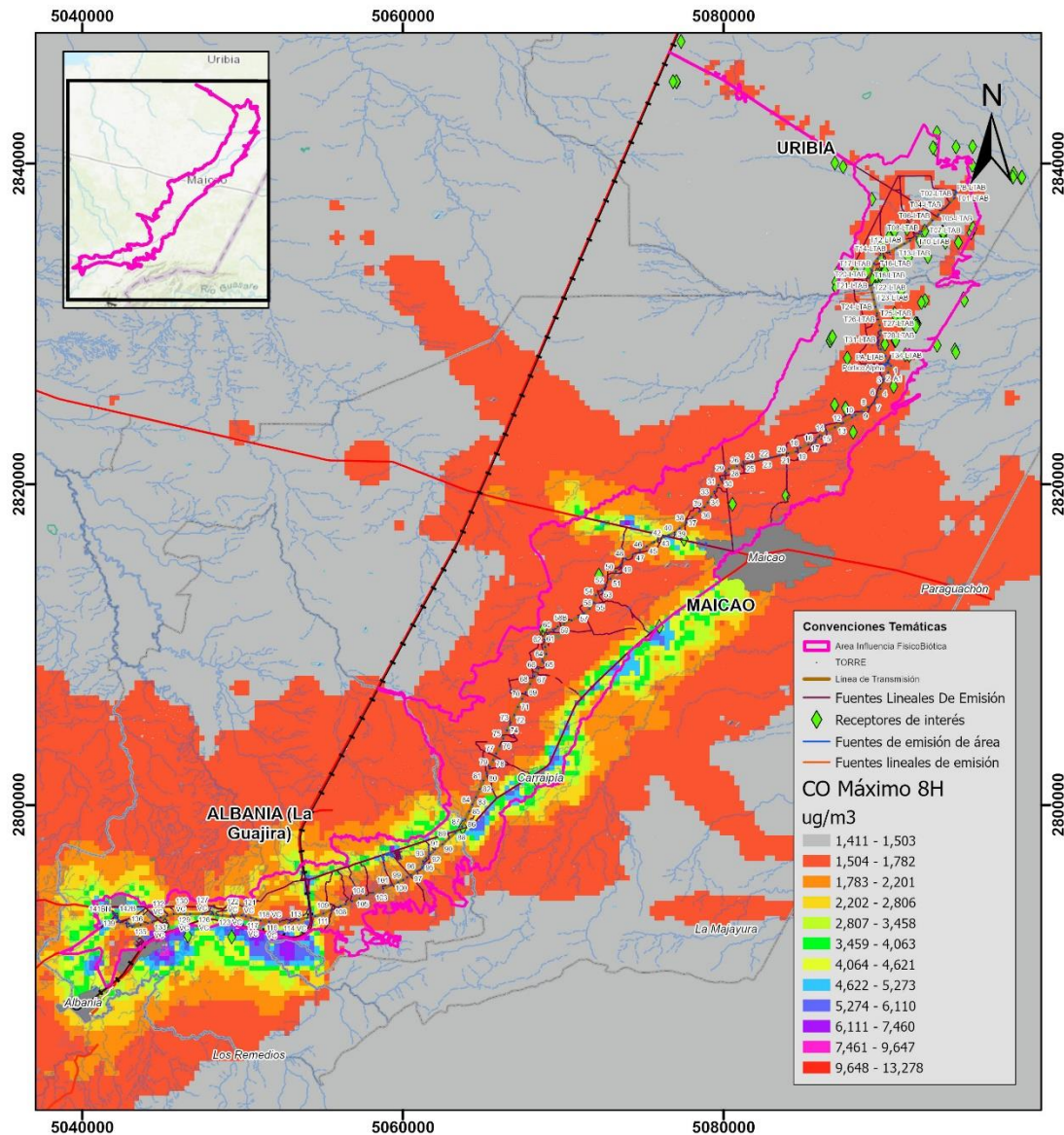


Figura 7-55 Calidad del Aire Proyectada CO 1Hora, Escenario 1.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024



Calidad Del Aire Proyectada CO Máximo 8H

Escenario Línea Base

Convenções base cartográfica

Drenaje_Sencillo Lecho seco Via Tipo 2 Área Urbana
 Drenaje_Doble Via_Ferrea Via Tipo 1 Via Tipo 3 Limite Municipal

Escala: 1:320,000

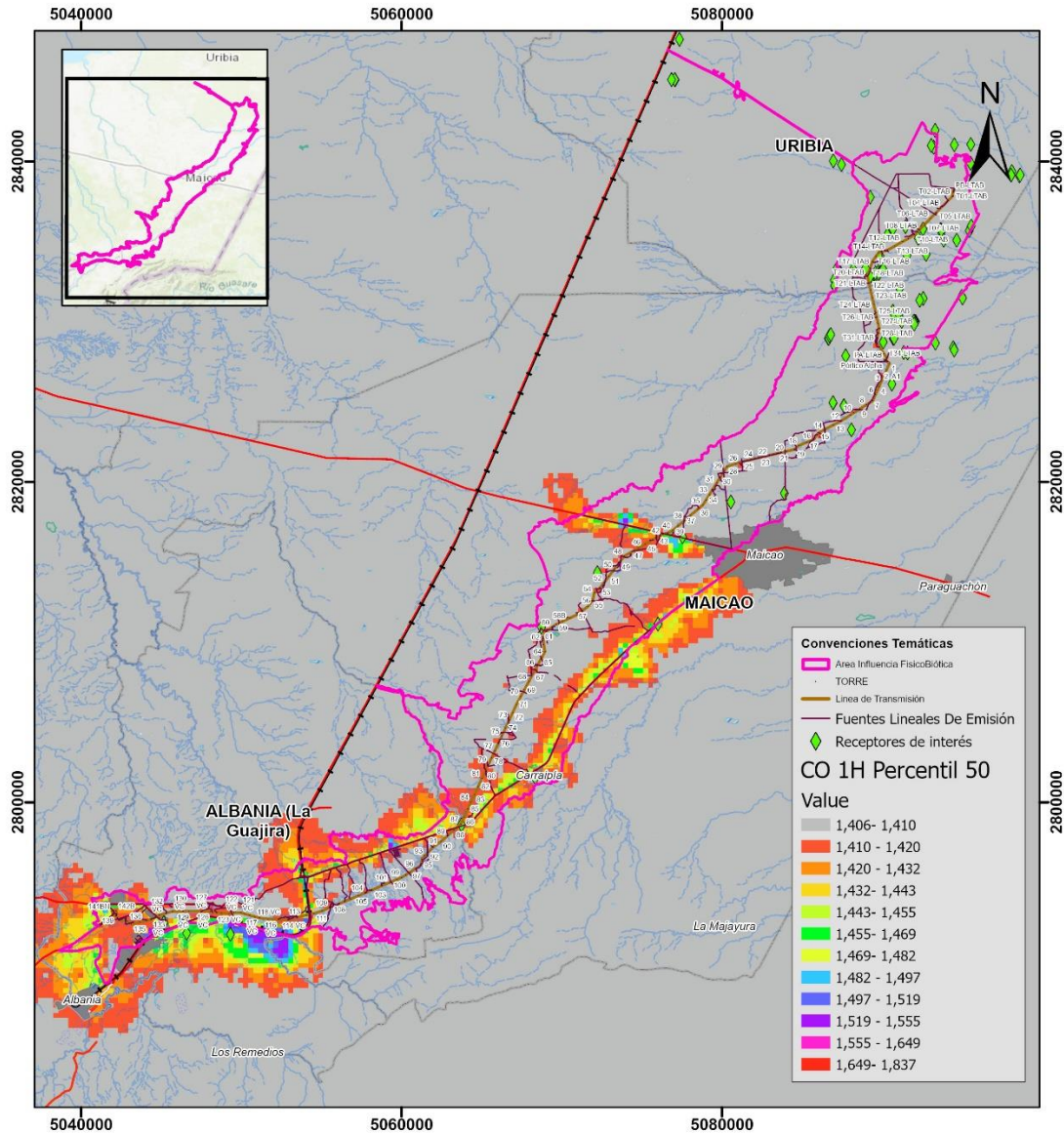
5 3 0 5 Km.

Sistema de Coordenadas
MAGNA Colombia CTM12

LÍNEA ELÉCTRICA DE CONEXIÓN PARQUES EÓLICOS BETA Y ALPHA A LA SUBESTACIÓN CUESTECITAS

Figura 7-56 Calidad del Aire Proyectada CO 8 Horas, Escenario 1.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024



Calidad Del Aire Proyectada CO Máximo 1H

Escenario de modelación Línea Base

Convenções base cartográfica

Drenaje_Sencillo Lecho seco Via Tipo 2 Área Urbana
 Drenaje_Doble Via_Ferrea Via Tipo 1 Via Tipo 3 Limite Municipal

Escala: 1:320,000

5 3 0 5 Km.

Sistema de Coordenadas
MAGNA Colombia CTM12

LÍNEA ELÉCTRICA DE CONEXIÓN PARQUES EÓLICOS BETA Y ALPHA A LA SUBESTACIÓN CUESTECITAS

Figura 7-57 Calidad del Aire Proyectada CO 1Hora percentil 50, Escenario 1.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

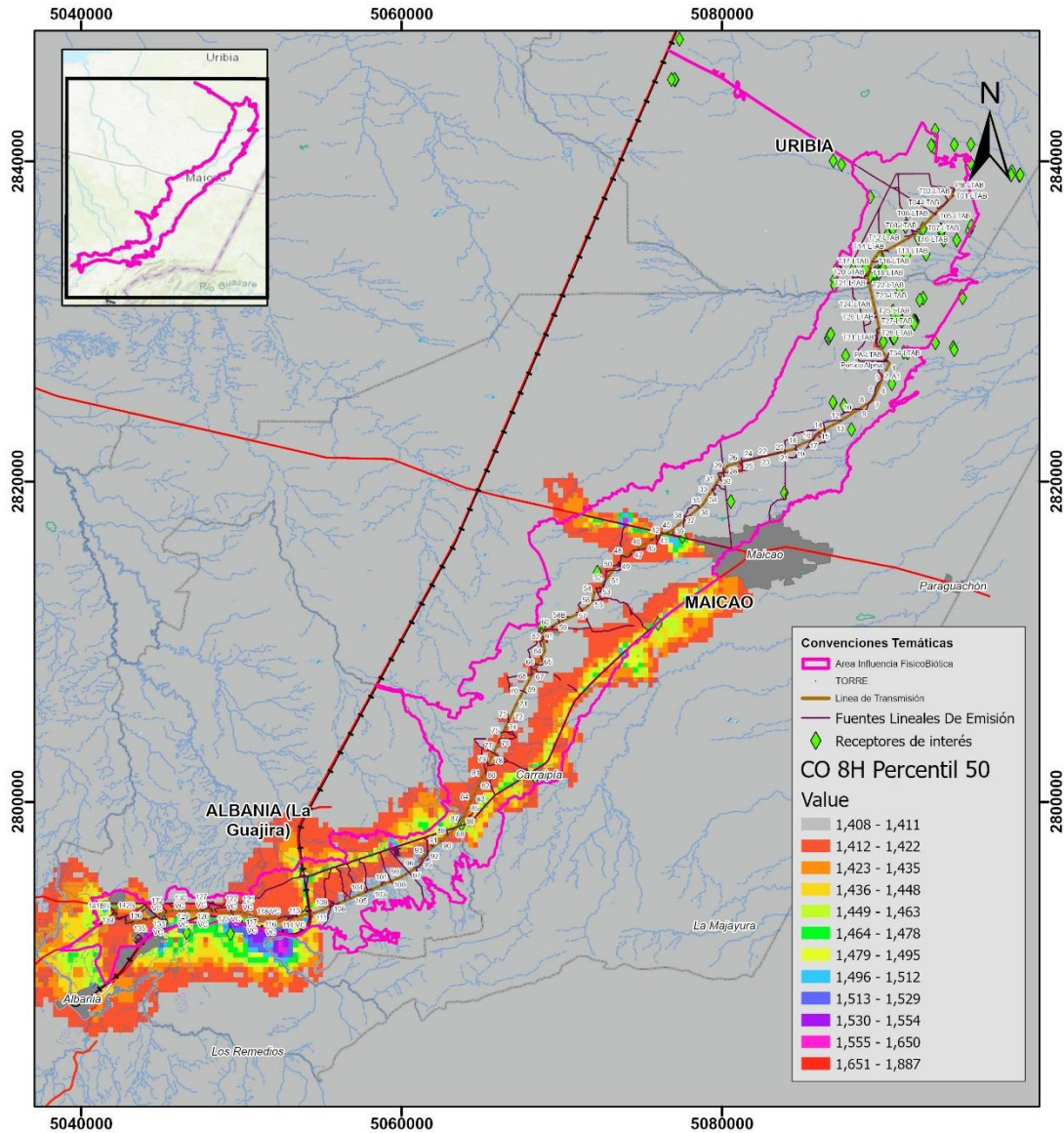
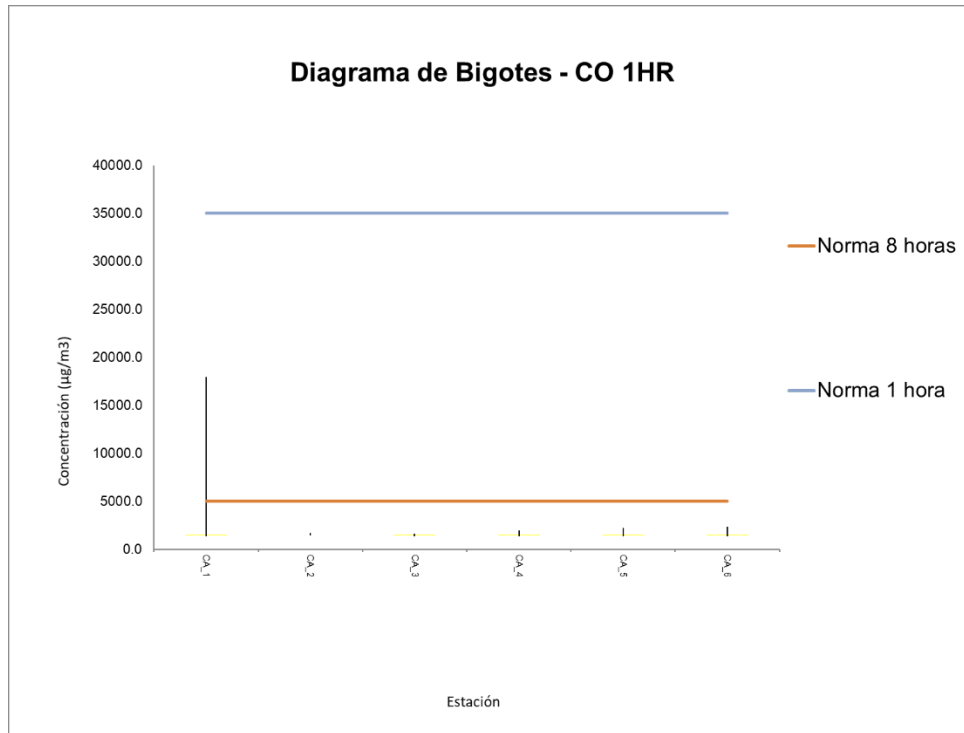


Figura 7-58

Calidad del Aire Proyectada CO 8 Horas percentil 50, Escenario 1.

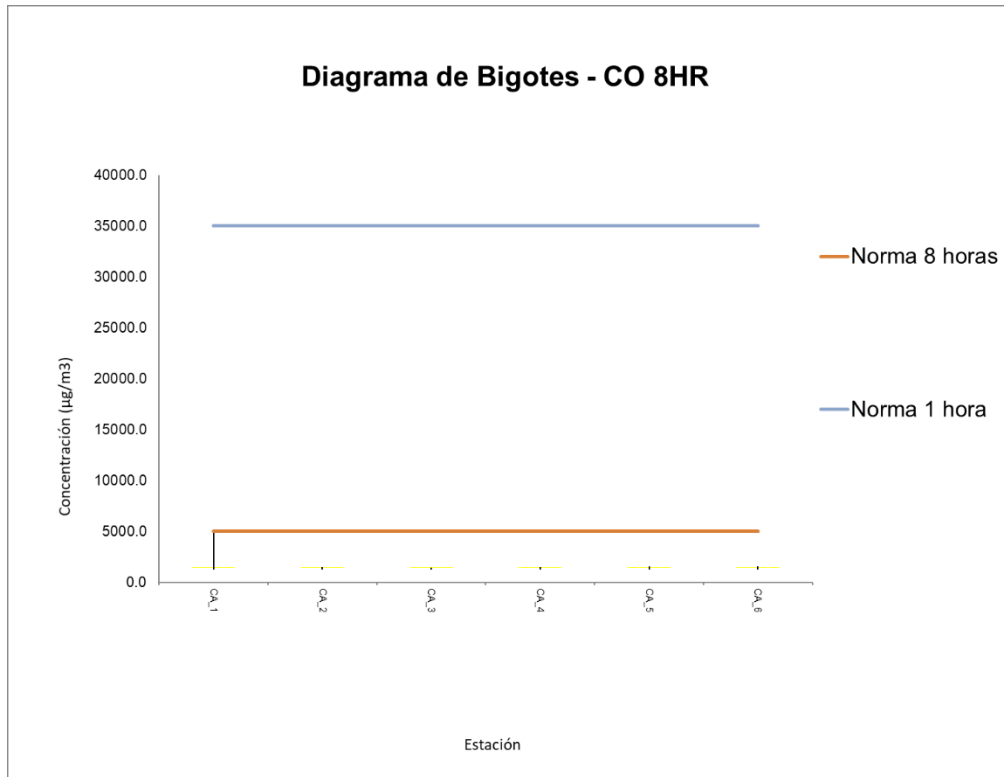
FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024



Nombre de la estación	Concentración (µg/m³)				
	P1	P25	P50	P75	P100
MÁXIMO	1426.0	2002.8	2856.5	3629.6	136936.9
CA_1	1406.8	1408.3	1412.4	1440.6	17938.0
CA_2	1406.8	1406.8	1406.8	1406.8	1696.8
CA_3	1406.8	1406.9	1407.3	1407.9	1607.7
CA_4	1406.8	1406.9	1407.4	1408.8	1923.1
CA_5	1406.8	1407.0	1407.8	1411.2	2211.8
CA_6	1406.8	1407.1	1408.0	1410.7	2321.6

Figura 7-59 Diagramas de cajas y bigotes para los datos de concentración en 1h de CO proyectados por el modelo de dispersión de contaminantes en estaciones del SVCA. (Concentración de fondo incluida).

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024



Nombre de la estación	Concentración (µg/m3)				
	P1	P25	P50	P75	P100
MÁXIMO	1690.4	1971.5	2419.9	3192.0	29173.3
CA_1	1242.2	1410.2	1422.5	1454.0	4949.9
CA_2	1231.0	1406.8	1406.8	1406.9	1470.9
CA_3	1231.4	1407.3	1407.5	1408.4	1453.7
CA_4	1231.0	1407.3	1408.2	1409.8	1501.2
CA_5	1231.7	1407.3	1409.1	1413.7	1587.8
CA_6	1231.5	1407.8	1409.3	1412.5	1571.2

Figura 7-60 Diagramas de cajas y bigotes para los datos de concentración en 8h de CO proyectados por el modelo de dispersión de contaminantes en estaciones del SVCA. (Concentración de fondo incluida).

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

7.8.13.2 Escenario 2. Construcción del proyecto sin medidas de control

Los resultados de la dispersión de contaminantes criterio provenientes de la construcción del proyecto *Línea eléctrica de conexión parques eólicos Beta y Alpha a subestación Cuestecitas* sin medidas de control de emisiones se analizan con los mismos criterios utilizados en la discusión del escenario 1. En este escenario se evaluaron los aportes de las diferentes actividades de la fase

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL LÍNEA ELÉCTRICA DE CONEXIÓN PARQUES EÓLICOS BETA Y ALPHA A SUBESTACIÓN CUESTECITAS	
Versión 2	Noviembre 2024	

constructiva (adecuación de accesos, voladuras, obras menores, y construcción/montaje de torres), tráfico vehicular existente, flota vehicular del proyecto y actividad del helicóptero Bell 212 destinado al transporte de materiales y personal. Los resultados gráficos presentados a continuación integran todos los aportes mencionados anteriormente, los cuales se pueden detallar en *3_Anexos\Cap. 07 Uso, demanda RRNN\7.8 Emisiones atmosféricas\Anexo 7.8-1 Aire*.

7.8.13.2.1 Material particulado PM10

Como se indicó con antelación, para evaluar la calidad del aire proyectada por el modelo, se toman como referencia los receptores ubicados en los puntos de monitoreo de calidad del aire y en receptores ubicados en puntos de interés de la comunidad. La calidad del aire proyectada se calcula como la sumatoria del dato proyectado por el modelo en la métrica objeto de análisis y la concentración de fondo estimada.

Para el periodo de exposición anual, se observa que, en todos los receptores de interés, las medidas de tendencia central de los datos de concentración de PM10 indican que se cumplirá con los límites máximos establecidos por la resolución 2254 de 2017 para dicha métrica en todos los receptores de interés cuando se presenten condiciones desfavorables de dispersión, hecho evidenciado en las isopletras que representan el promedio anual y el percentil 50 de las concentraciones diarias, así como en los diagramas de caja y bigotes.

La **Figura 7-61**, **Figura 7-62** y **Figura 7-63** presentan la cartografía temática de las salidas gráficas del modelo. Se observa que las mayores concentraciones de partículas PM10 en calidad del aire pueden ser percibidas sobre vías destapadas, vías de adecuación (en la zona norte del proyecto) y áreas de montaje de torres simuladas en este escenario, las cuales se constituyen como principales fuentes de emisión en la simulación del escenario, por otro lado, se evidencian aportes nulos en relación con la operación del helicóptero Bell 212 asociada al transporte de materiales y personal.

Los efectos de los aportes de la obra civil son de carácter temporal y estarían ligados a la duración de esta, de tal forma que los riesgos de incremento en la concentración diaria proyectados por el modelo, solo se harán probables en este periodo en función de las categorías de estabilidad atmosférica observables.

La **Figura 7-64** presenta la calidad del aire estimada en gráficos box plot. En general el diagrama de box plot, así como las isopletras para la métrica media anual y percentil 50 indican una calidad del aire que cumplirá con los estándares de la Resolución 2254 de 2017 del MADS; mientras que las isopletras correspondientes al máximo diarios así como los percentiles 100 del box plot establecen riesgos de incumplimiento de la norma diaria en ciertas áreas del dominio de modelación bajo condiciones desfavorables de estabilidad atmosférica, las cuales son poco frecuentes en horario diurno, en el cual se desarrolla la actividad de las fuentes de emisión consideradas en el escenario 2.

Los riesgos asociados a incrementos en las medias diarias obedecen al incremento de la carga de partículas dada la naturaleza de las actividades de obra civil, así como el incremento de la flota vehicular que circula por vías destapadas durante la ejecución del proyecto.

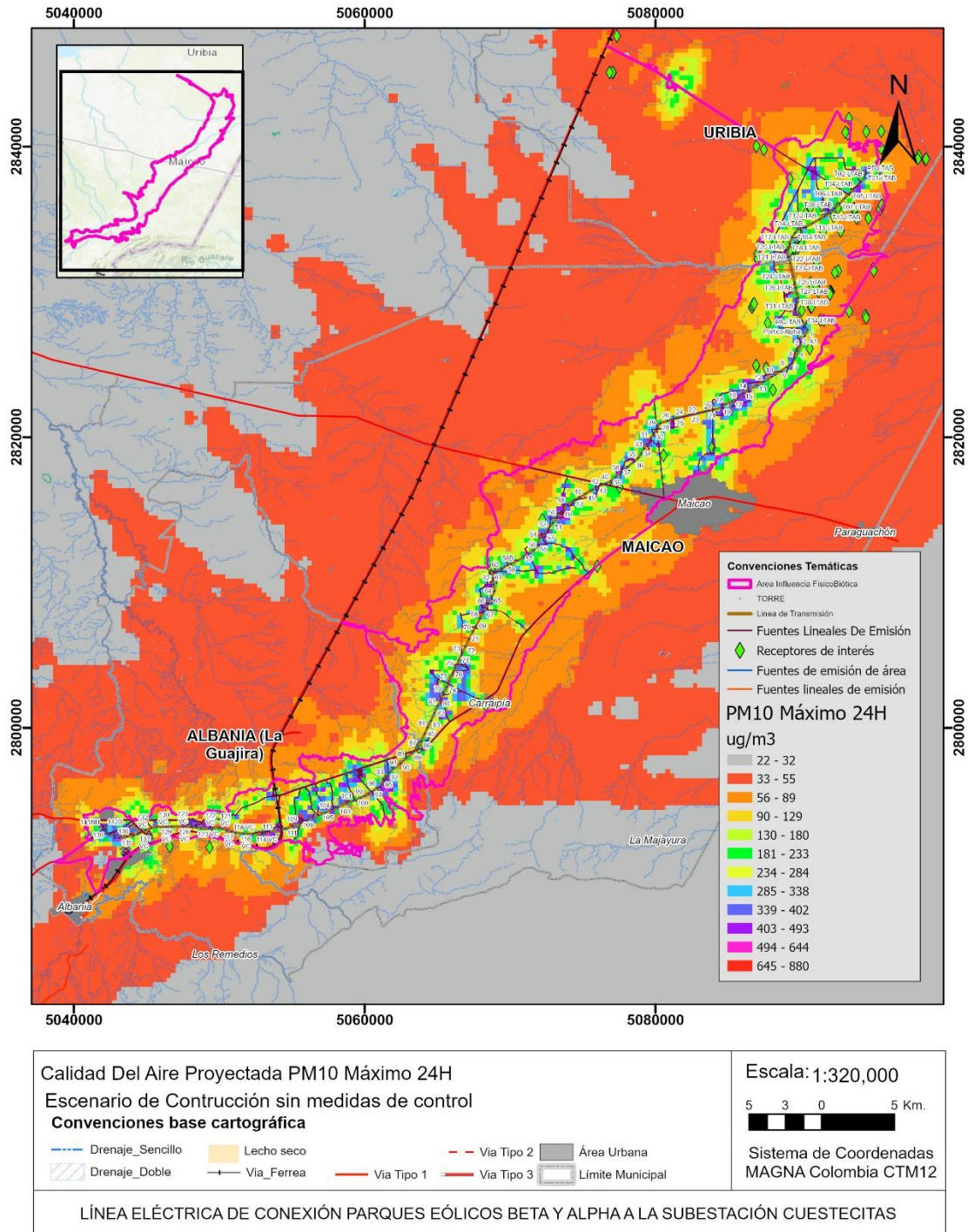


Figura 7-61

Calidad del Aire Proyectada PM10 máximo diario, Escenario 2.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

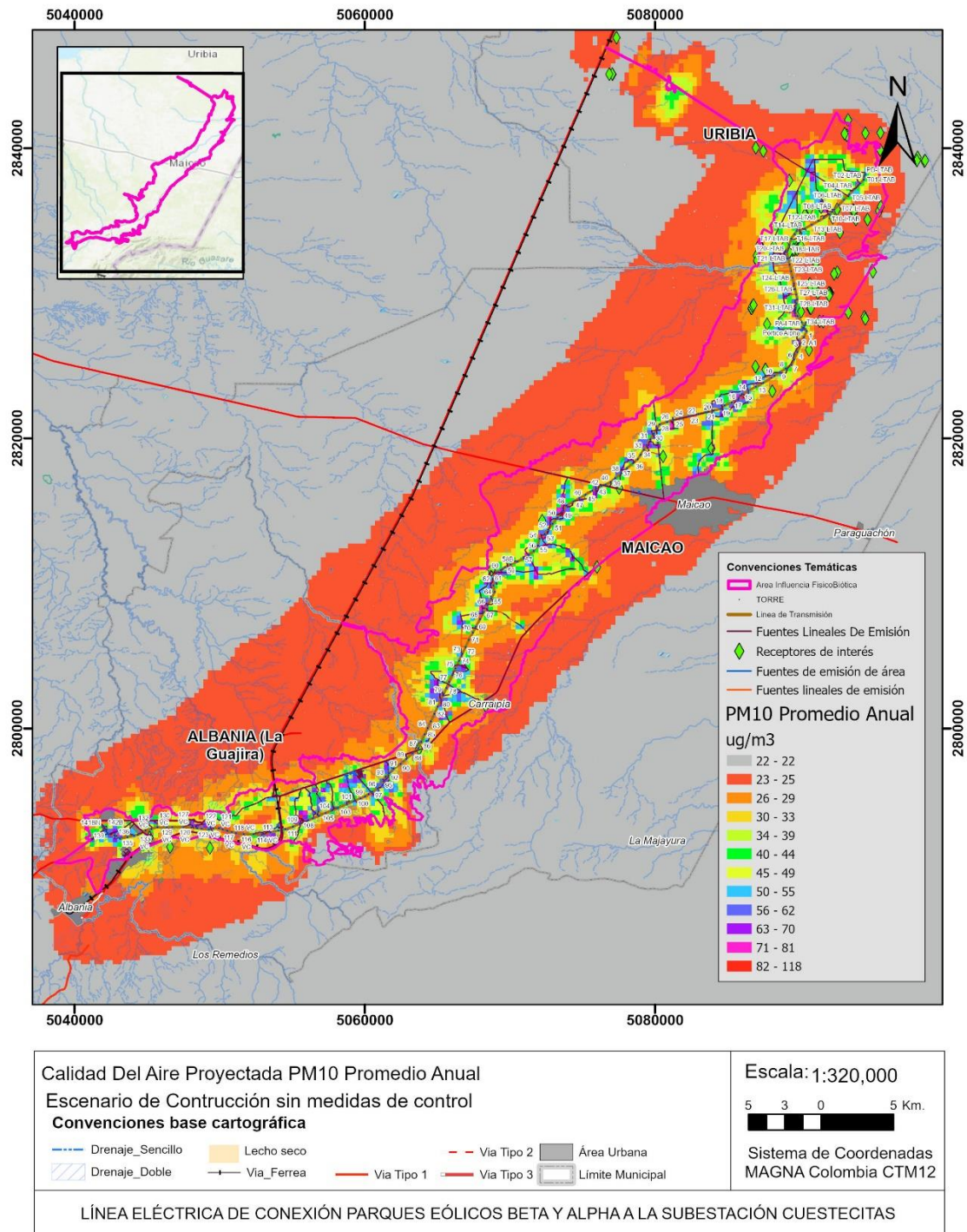


Figura 7-62

Calidad del Aire Proyectada PM10 Promedio Anual, Escenario 2.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

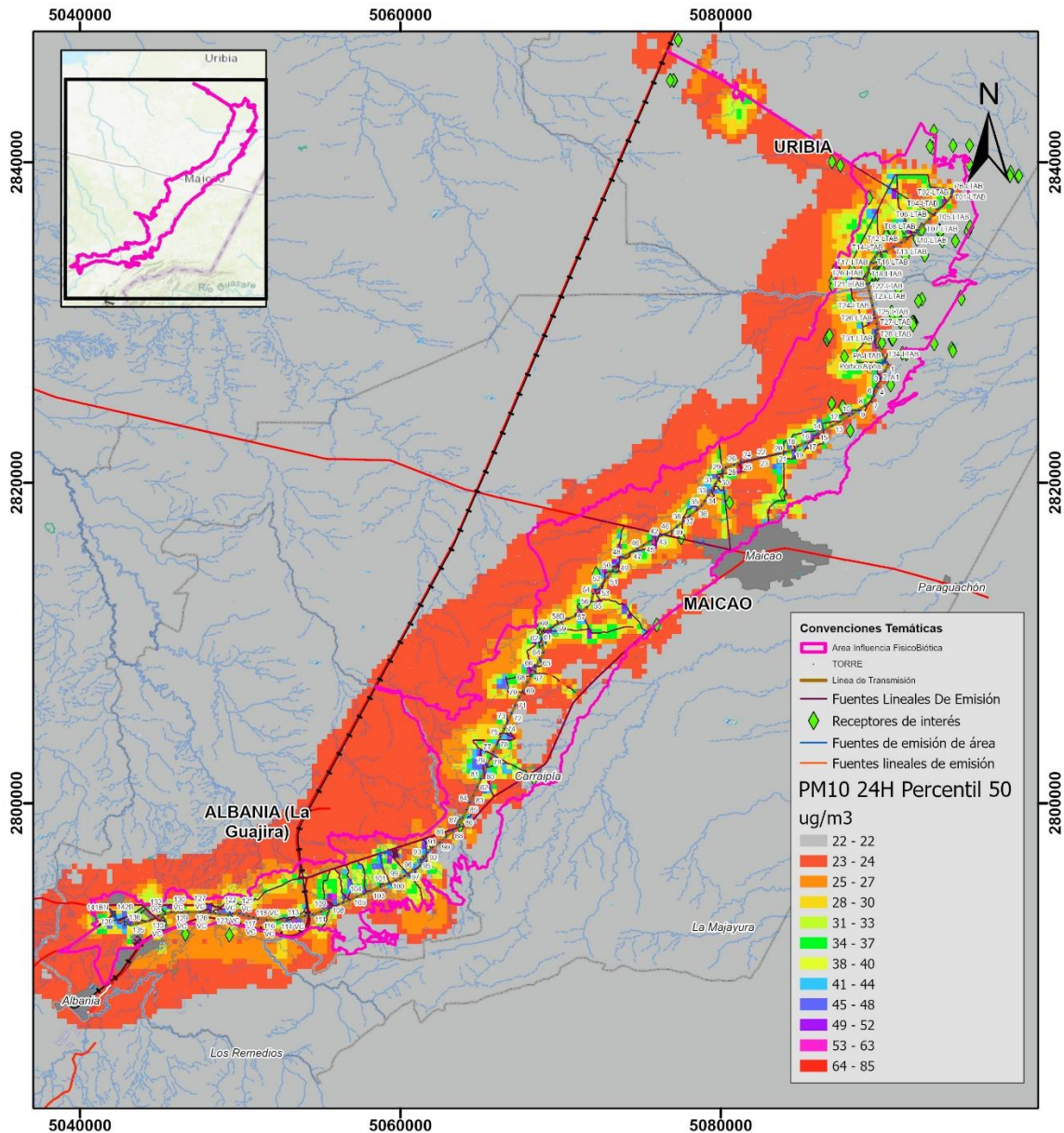
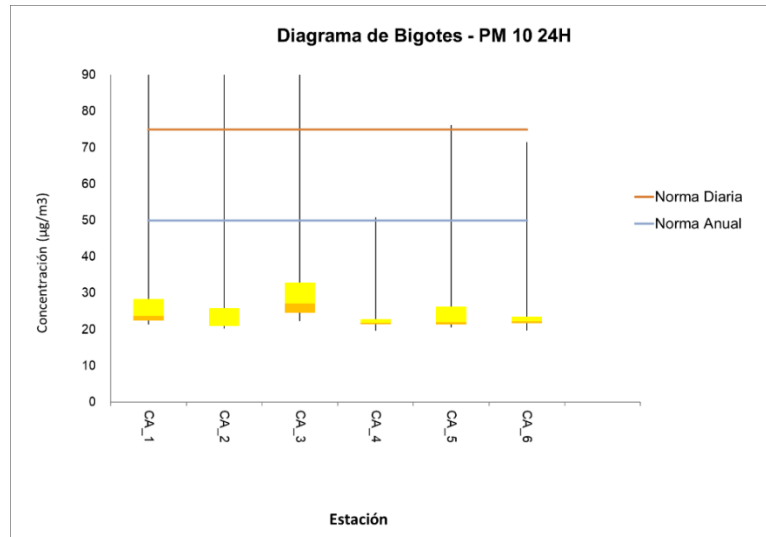


Figura 7-63 Calidad del Aire PM10 proyectado percentil 50 de los datos diarios, Escenario 2.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024



Nombre de la estación	Concentración (µg/m3)				
	P1	P25	P50	P75	P100
MÁXIMO	189.21	300.68	385.01	514.87	1984.56
CA_1	21.37	22.42	23.70	28.33	139.27
CA_2	20.22	21.00	21.00	25.93	102.24
CA_3	22.28	24.54	27.15	32.92	114.66
CA_4	19.63	21.51	21.87	22.81	50.92
CA_5	20.62	21.35	21.94	26.32	76.30
CA_6	19.73	21.76	22.18	23.61	71.61

Figura 7-64 Diagramas de cajas y bigotes para los datos de concentración 24 h de PM10 proyectados por el modelo de dispersión de contaminantes en estaciones del SVCAI. (Concentración de fondo incluida)
FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

7.8.14 Material particulado PM2.5

Para el periodo de exposición anual, se observa que, en todos los receptores de interés, las medidas de tendencia central de los datos de concentración de PM 2,5 indican que se cumplirá con los límites máximos establecidos por la resolución 2254 de 2017 del MADS para dicha métrica. Los resultados predichos por el modelo en la calidad del aire que aumentan en comparación con el escenario 1 estarían sustentados en el incremento de la carga de PM2,5 a causa de las actividades de obra civil que incluye resuspensión de partículas por manejo de agregados, actividades de voladuras, emisiones de maquinaria amarilla con motores diésel y al incremento de flujo vehicular en las vías asociadas al proyecto particular mente por el tráfico de vehículos pesados que incrementan la resuspensión en vías, así como las emisiones de PM_{2,5} de los motores Diesel. Así mismo se evidencian aportes nulos en relación con la operación del helicóptero Bell 212 asociada al transporte de materiales y personal.

La **Figura 7-65**, **Figura 7-66** y **Figura 7-67** presentan la cartografía temática de las salidas gráficas del modelo. Se observa que las mayores concentraciones de partículas PM_{2.5} en calidad del aire pueden ser percibidas sobre las zonas de montaje de torres y vías de adecuación proyectadas., las cuales se constituyen como principales fuentes de emisión en la simulación del escenario 2.

La **Figura 7-68** presenta la calidad del aire estimada en gráficos box plot. En general el diagrama de box plot, así como las isopletas para la métrica media anual y percentil 50 indican una calidad del aire que cumplirá con los estándares de la Resolución 2254 de 2017 del MADS; mientras que las isopletas correspondientes al máximo diarios, así como los percentiles 100 del box plot establecen riesgos de incumplimiento de la norma anual, sin llegar a incumplirse la norma diaria.

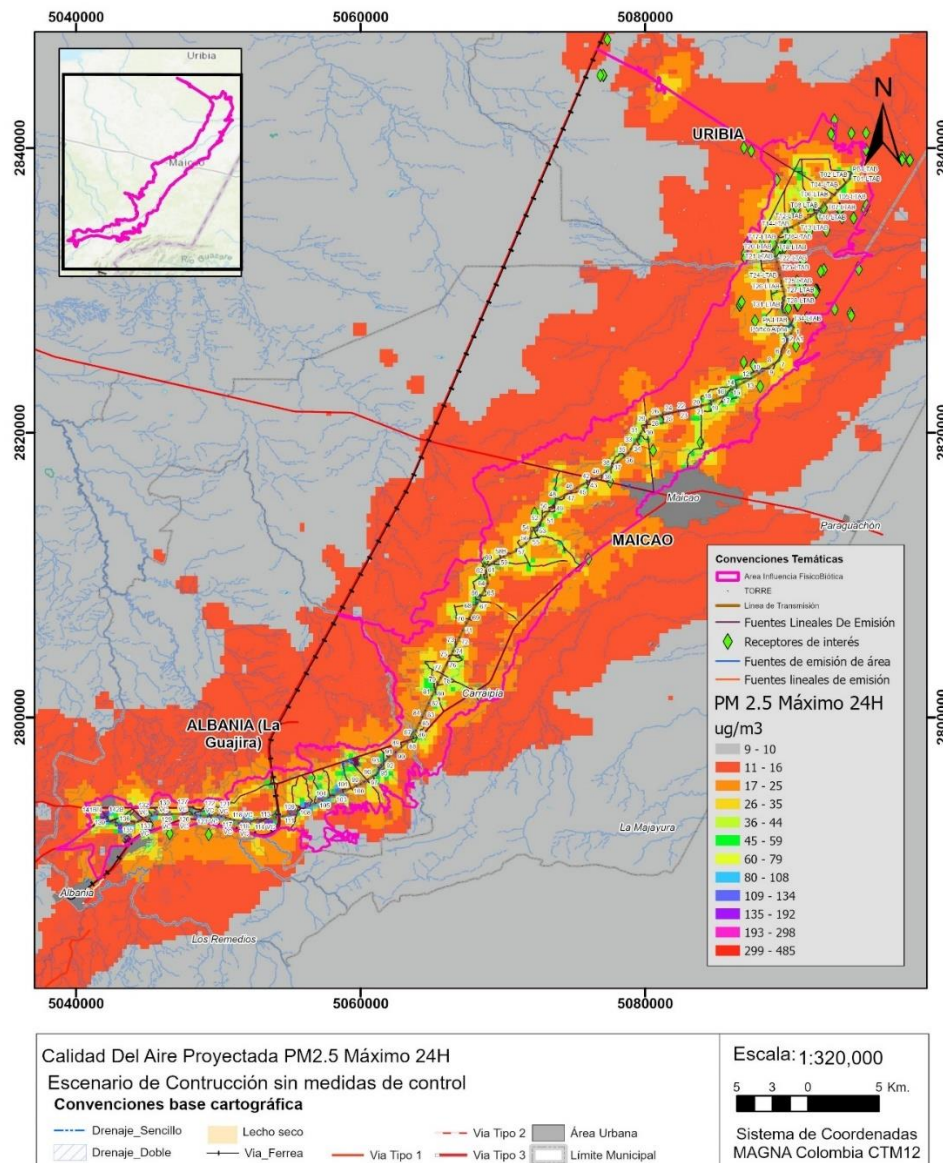


Figura 7-65

Calidad del Aire Proyectada PM_{2.5} máximo diario, Escenario 2.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

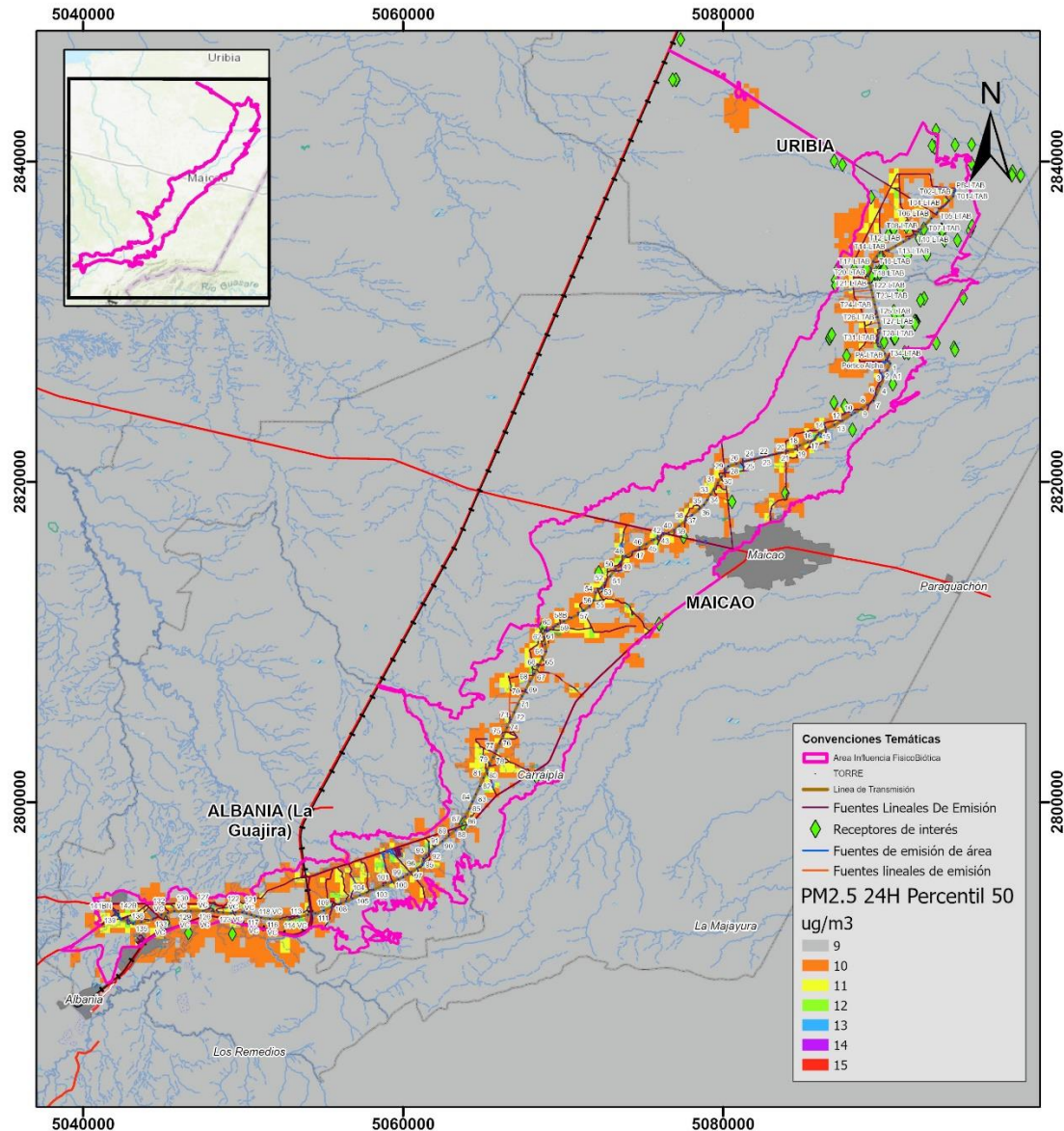


Figura 7-66

Calidad del Aire Proyectada PM2.5 percentil 50, Escenario 2.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

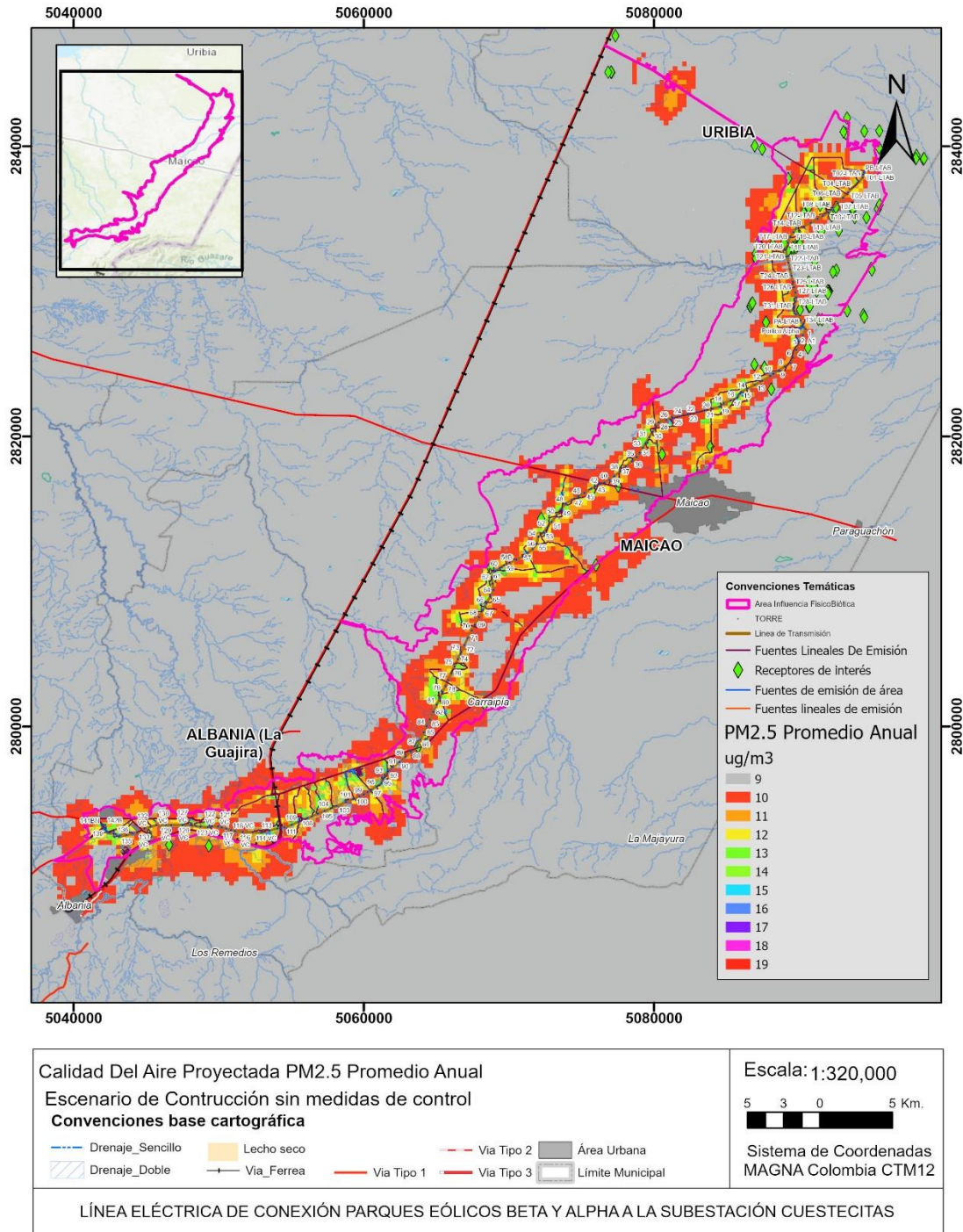
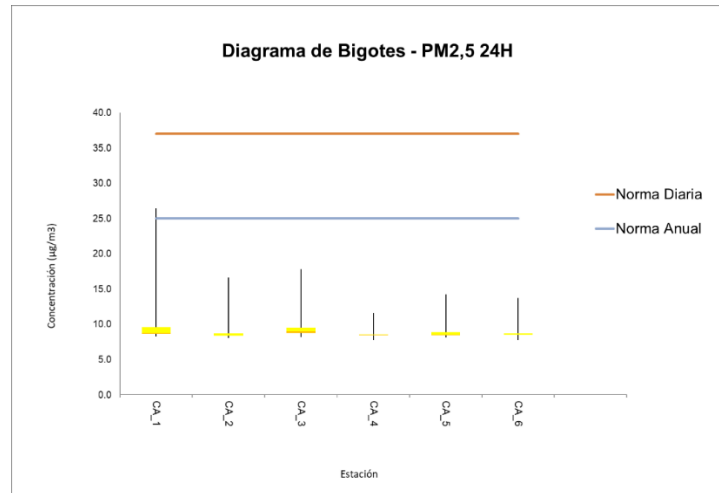


Figura 7-67

Calidad del Aire Proyectada PM2.5 Promedio Anual, Escenario 2

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024



Nombre de la estación	Concentración (µg/m ³)				
	P1	P25	P50	P75	P100
MÁXIMO	25.84	37.03	45.23	58.72	339.35
CA_1	8.25	8.62	8.79	9.59	26.40
CA_2	8.05	8.40	8.40	8.72	16.60
CA_3	8.20	8.76	9.01	9.53	17.83
CA_4	7.75	8.45	8.49	8.59	11.57
CA_5	8.12	8.44	8.50	8.91	14.23
CA_6	7.78	8.48	8.53	8.67	13.72

Figura 7-68 Diagramas de cajas y bigotes para los datos de concentración 24 h de PM 2,5 proyectados por el modelo de dispersión de contaminantes en estaciones del SVCAI y en puntos de interés. (Concentración de fondo incluida)

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

7.8.14.1 Dióxido de azufre

Para el periodo de exposición diario, se observa que, en todos los receptores de interés, las medidas de tendencia central de los datos de concentración de SO₂ indican que se cumplirá con los límites máximos establecidos por la resolución 2254 de 2017 del MADS para dicha métrica.

Por otro lado, los aportes de carga SO₂ vinculados al proyecto, en particular de la maquinaria amarilla vinculada a la obra civil generarían probabilidad de incrementos de concentración de SO₂ en calidad del aire, sin embargo, no se presentarán eventos de alta concentración aún en condiciones desfavorables de dispersión.

Los episodios de incremento de la concentración horaria de SO₂, se consideran ocasionales poco representativo de la calidad del aire de la zona, hecho evidenciado en las isopletras que representan en los resultados del percentil 50 para las métricas horaria y diaria, así como en los diagramas de caja y bigotes. Los episodios diarios de incremento de concentración de SO₂ en la calidad del aire estarían sustentados en el incremento de la carga de dicho contaminante de las emisiones de maquinaria amarilla con motores diésel y al incremento de flujo vehicular en las vías asociadas al

proyecto particularmente por el tráfico de vehículos pesados. por otro lado, se evidencian aportes nulos en relación a la operación del helicóptero Bell 212 asociada al transporte de materiales y personal.

La **Figura 7-69**, **Figura 7-70**, **Figura 7-71** y **Figura 7-72** presentan la cartografía temática de las salidas gráficas del modelo. Se observa que las mayores concentraciones del elemento en calidad del aire pueden ser percibidas sobre vías destapadas, las cuales se constituyen como principales fuentes de emisión en la simulación del escenario base. La **Figura 7-73** y **Figura 7-74** presentan la calidad del aire estimada en gráficos box plot. En general el diagrama de box plot, así como las isopletras para la métrica percentil 50 indican una calidad del aire que típicamente cumplirá con los estándares de la Resolución 2254 de 2017 del MADS.

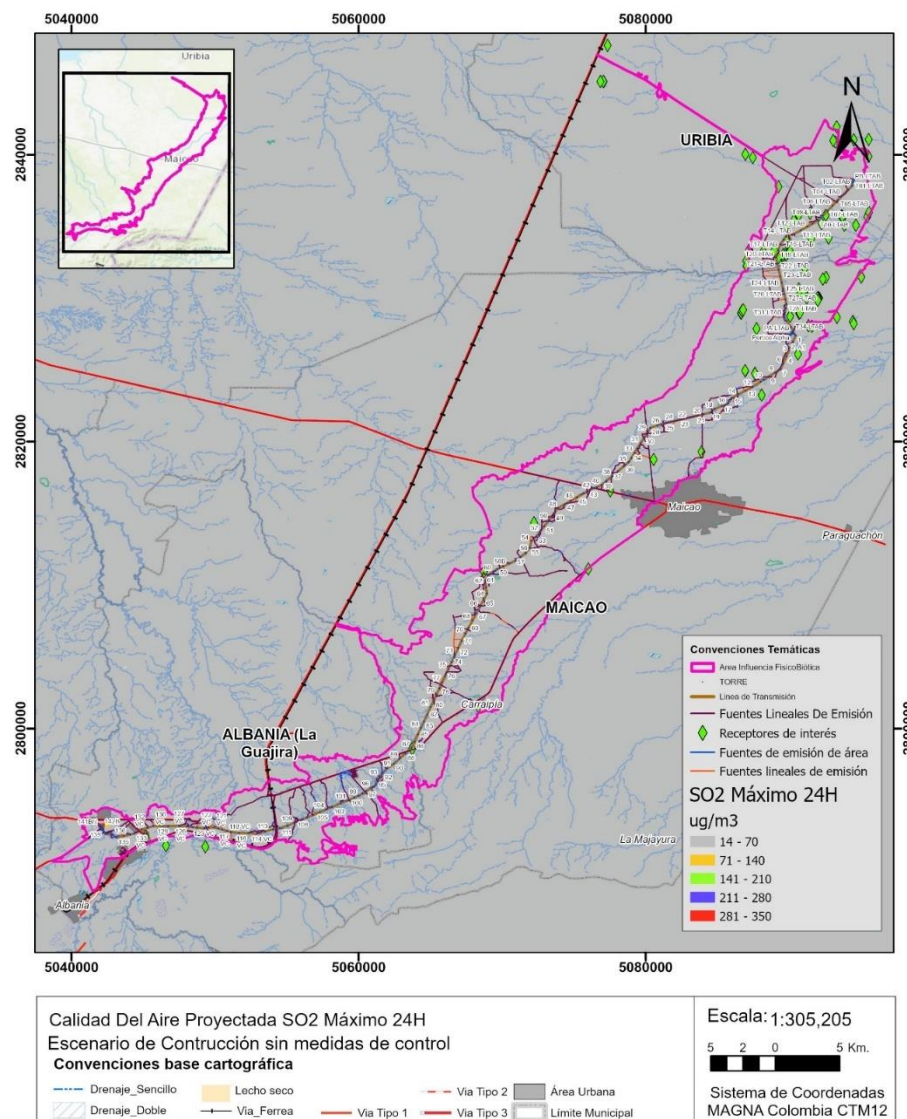


Figura 7-69 Calidad del Aire Proyectada SO2 24 Horas, Escenario 2.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

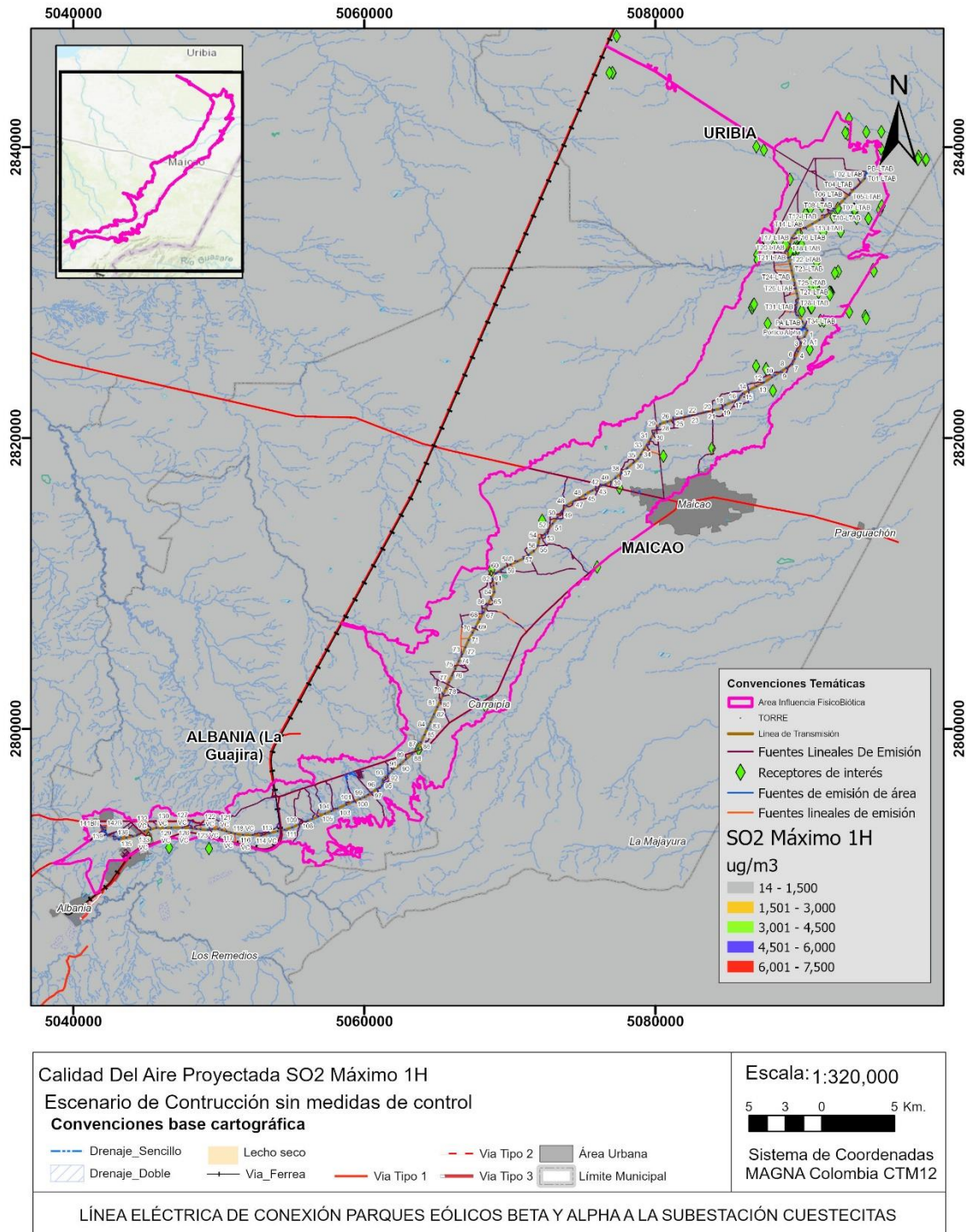


Figura 7-70 Calidad del Aire Proyectada SO2 1 Hora, Escenario 2.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

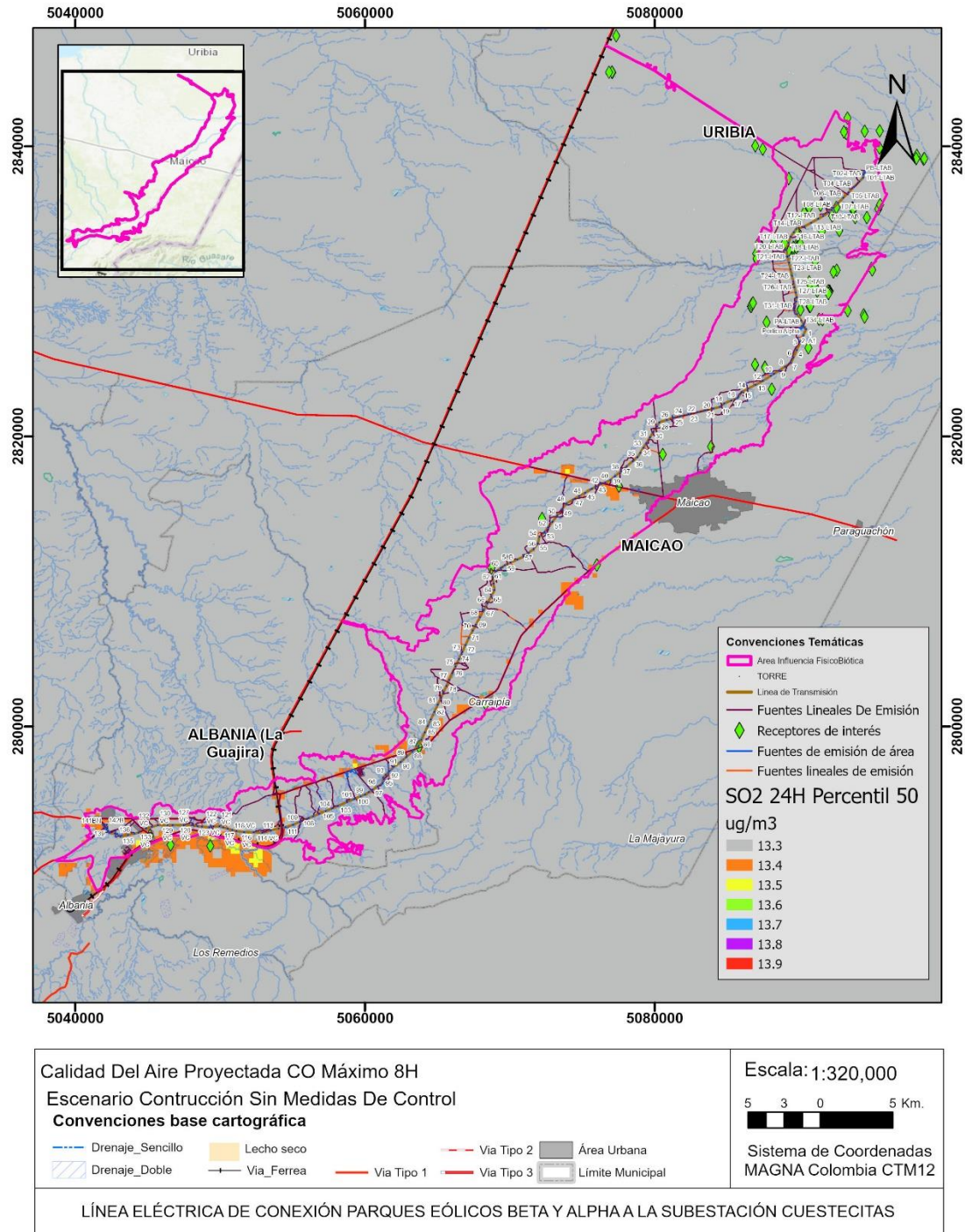


Figura 7-71

Calidad del Aire Proyectada SO2 24 Horas percentil 50, Escenario 2.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

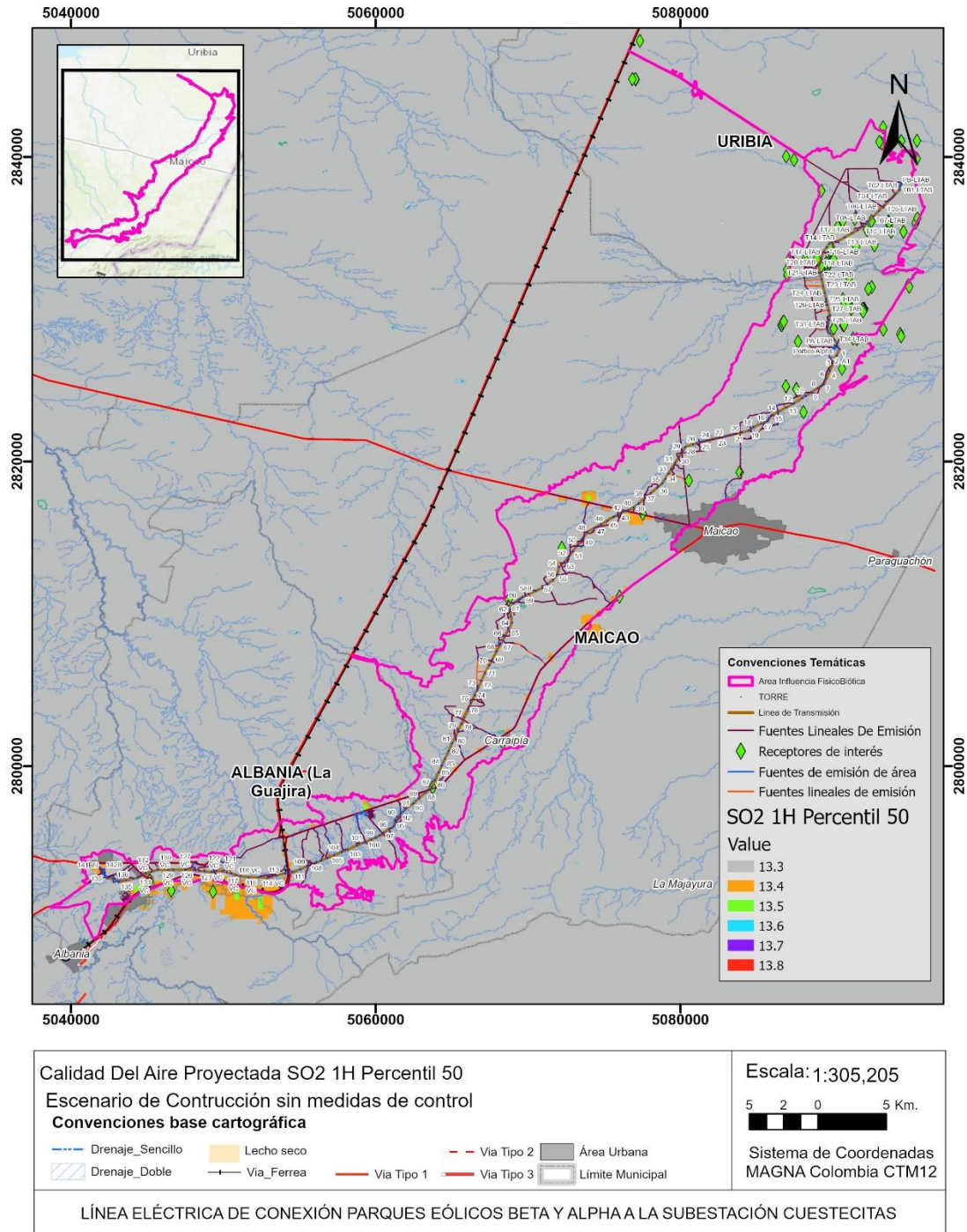
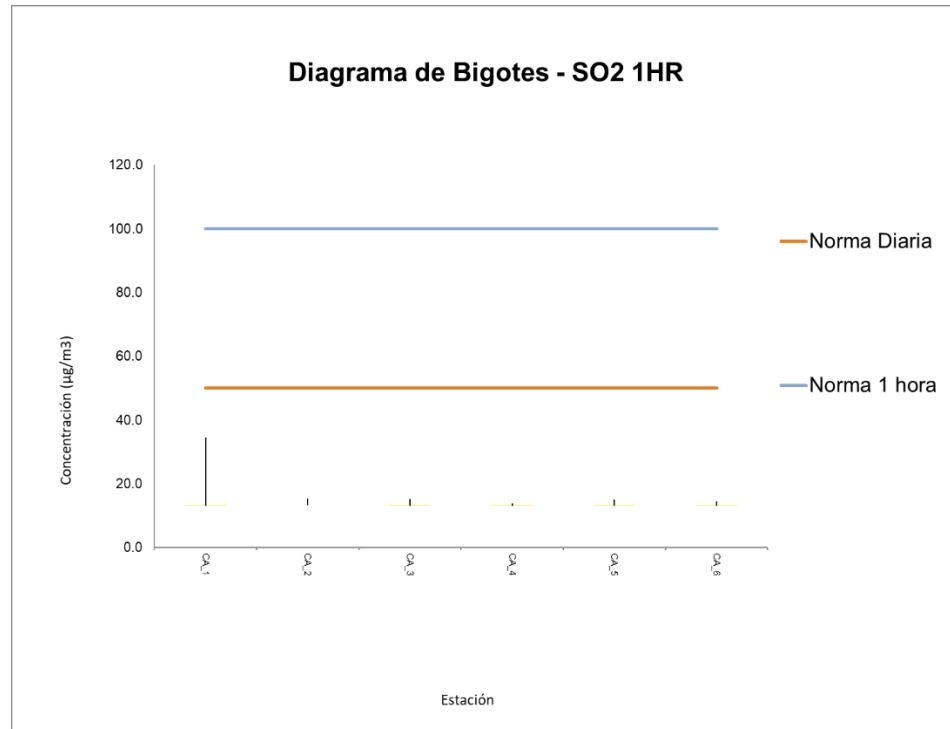


Figura 7-72

Calidad del Aire Proyectada SO2 1 Hora percentil 50, Escenario 2.

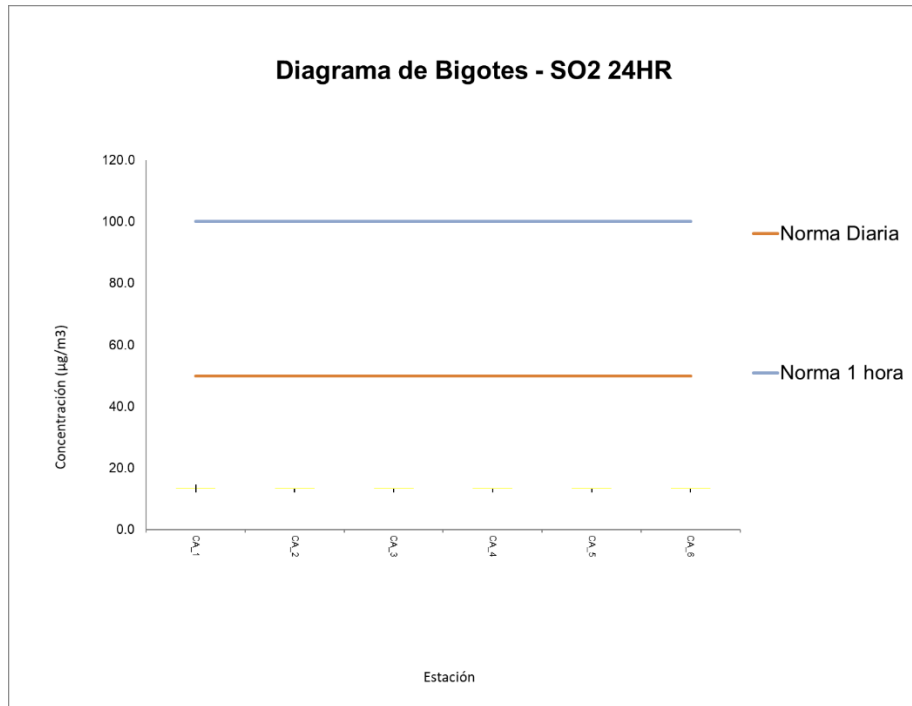
FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024



Nombre de la estación	Concentración (µg/m3)				
	P1	P25	P50	P75	P100
MÁXIMO	13.25	14.00	15.11	16.11	188.27
CA_1	13.23	13.23	13.24	13.27	34.57
CA_2	13.23	13.23	13.23	13.23	15.30
CA_3	13.23	13.23	13.23	13.24	15.22
CA_4	13.23	13.23	13.23	13.23	13.89
CA_5	13.23	13.23	13.23	13.24	15.01
CA_6	13.23	13.23	13.23	13.24	14.41

Figura 7-73 Diagramas de cajas y bigotes para los datos de concentración 1 hora de SO₂ proyectados por el modelo de dispersión de contaminantes en estaciones del SVCAI. (Escenario 2 sin medidas de control, Concentración de fondo incluida).

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024



Nombre de la estación	Concentración (µg/m3)				
	P1	P25	P50	P75	P100
MÁXIMO	13.27	14.05	14.53	15.40	28.65
CA_1	12.18	13.24	13.25	13.30	14.76
CA_2	12.13	13.23	13.23	13.23	13.33
CA_3	12.13	13.23	13.23	13.24	13.33
CA_4	12.13	13.23	13.23	13.23	13.28
CA_5	12.13	13.23	13.23	13.24	13.35
CA_6	12.13	13.23	13.23	13.24	13.30

Figura 7-74 Diagramas de cajas y bigotes para los datos de concentración 24 horas de SO₂ proyectados por el modelo de dispersión de contaminantes en estaciones del SVCAI. (Escenario 2 sin medidas de control, Concentración de fondo incluida).

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

7.8.14.2 Dióxido de Nitrógeno

Para la métrica anual, se observa que, en todos los receptores de interés, las medidas de tendencia central de los datos de concentración de NO₂ indican que se cumplirá con los límites máximos establecidos por la resolución 2254 de 2017 del MADS para dicha métrica.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL LÍNEA ELÉCTRICA DE CONEXIÓN PARQUES EÓLICOS BETA Y ALPHA A SUBESTACIÓN CUESTECITAS	
Versión 2	Noviembre 2024	

Por otro lado, los aportes de carga NO₂ vinculados al proyecto, en particular de la maquinaria amarilla vinculada a la obra civil, actividades de voladuras, equipos de generación y flota vehicular generarían probabilidad de incrementos de concentración de NO₂ en calidad del aire en condiciones adversas de dispersión que estarían por encima de la norma horaria. Estos fenómenos se podrían evidenciar en la calidad del aire de los receptores cercanos a las zonas de montaje de torres y vías de adecuación. Por otro lado, se evidencian aportes nulos en relación a la operación del helicóptero Bell 212 asociada al transporte de materiales y personal.

Los episodios de incremento de la concentración horaria de NO₂, se consideran ocasionales poco representativo de la calidad del aire típica de la zona en el escenario 2, hecho evidenciado en las isopletras que representan el percentil 50 para la métrica horaria, así como en los diagramas de caja y bigotes. Los episodios horarios de incremento de concentración de NO₂ en la calidad del aire estarían sustentados en el incremento de la carga de dicho contaminante de las emisiones de fuentes fijas y móviles de combustión interna.

La **Figura 7-75, Figura 7-76 y Figura 7-77** presentan la cartografía temática de las salidas gráficas del modelo. Se observa que las mayores concentraciones de partículas PM_{2,5} en calidad del aire pueden ser percibidas sobre vías destapadas, las cuales se constituyen como principales fuentes de emisión en la simulación del escenario base.

La **Figura 7-78**, presenta la calidad del aire estimada en gráficos box plot. En general el diagrama de box plot, así como las isopletras para la métrica percentil 50 indican una calidad del aire que típicamente cumplirá con los estándares de la Resolución 2254 de 2017 del MADS; mientras que las isopletras correspondientes al máximo horarios, así como los percentiles 100 del box plot establecen riesgos de incumplimiento de la norma horaria bajo condiciones específicas de estabilidad en las que la dispersión es deficiente.

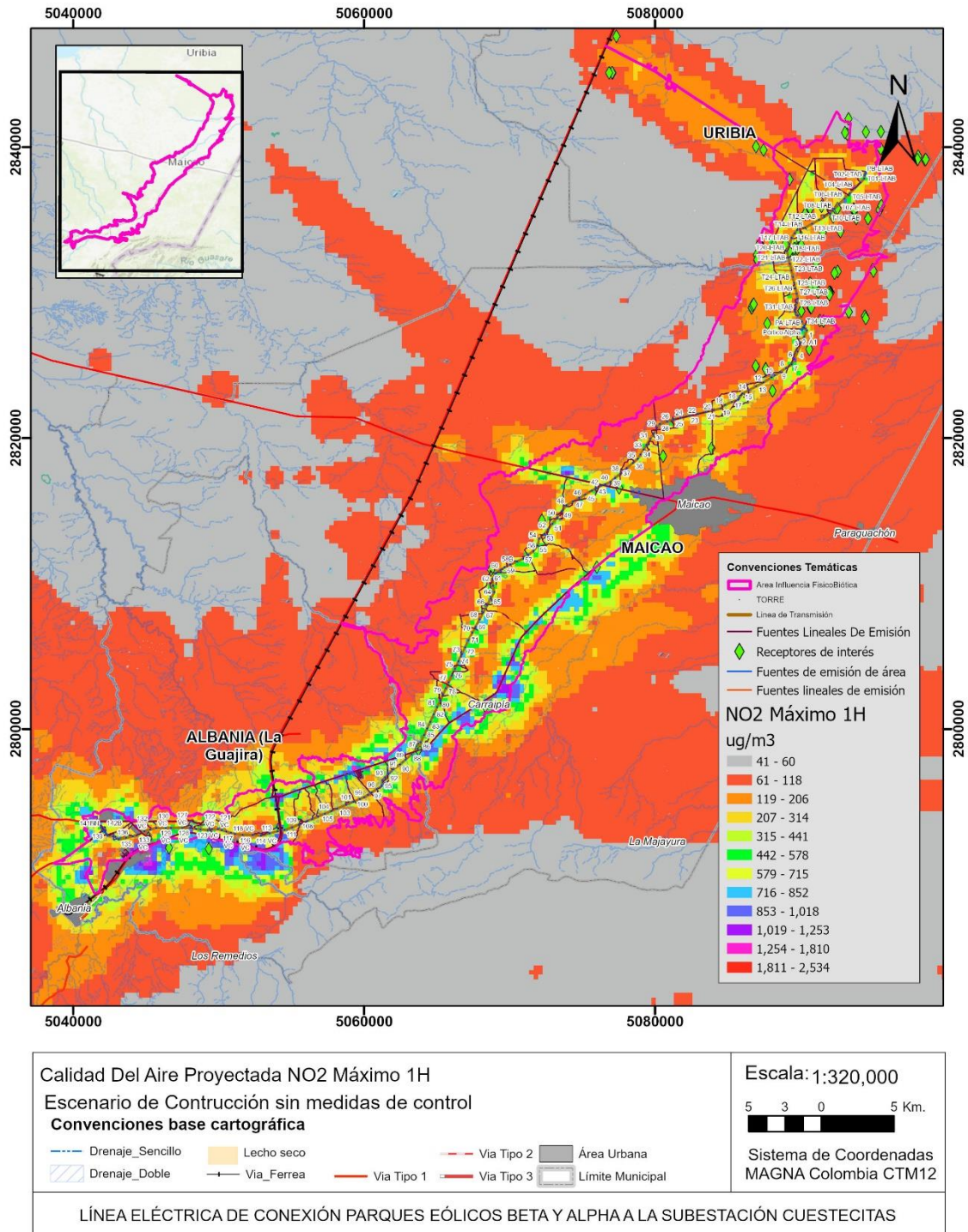


Figura 7-75 Calidad del Aire Proyectada NO2 1 Hora, Escenario 2.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

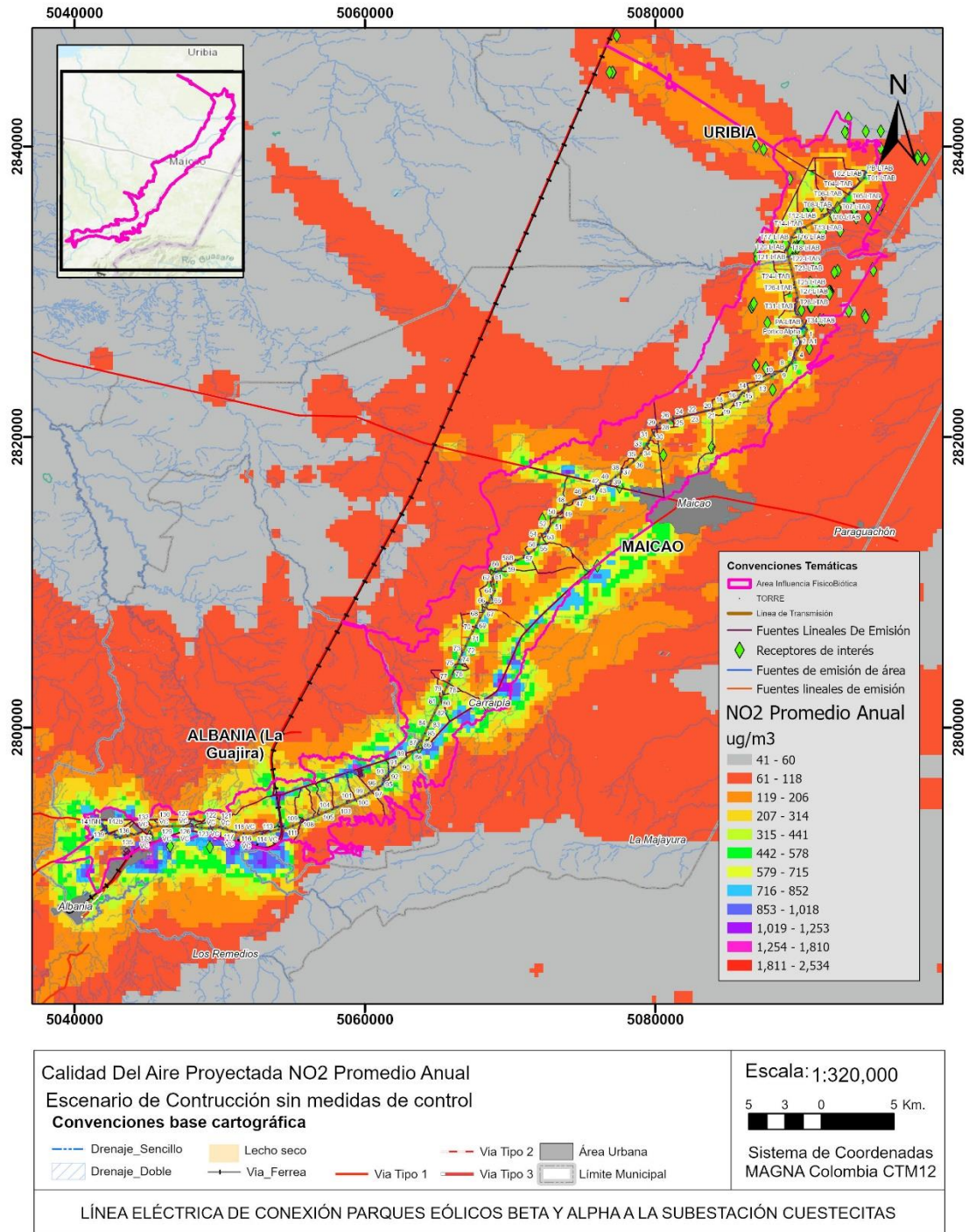


Figura 7-76

Calidad del Aire Proyectada NO2 Promedio Anual, Escenario 2.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

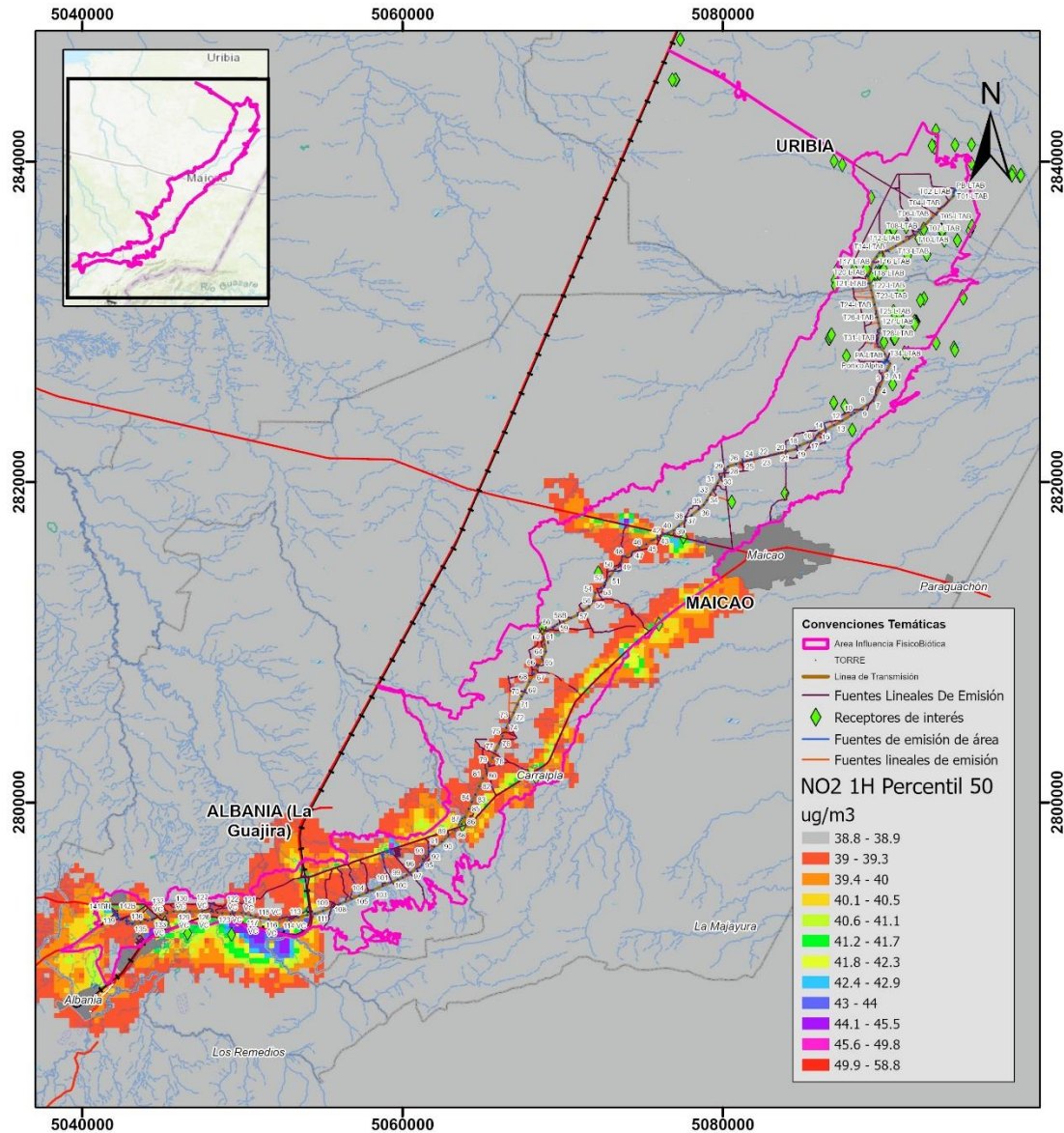
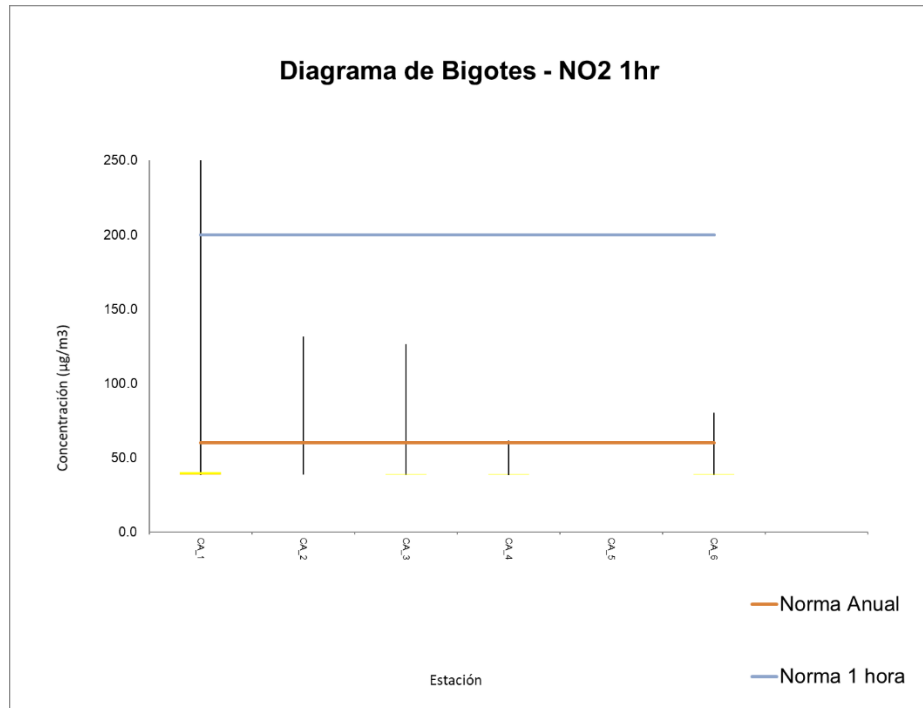


Figura 7-77

Calidad del Aire Proyectada NO2 1 Hora percentil 50, Escenario 2.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024



Nombre de la estación	Concentración (µg/m3)				
	P1	P25	P50	P75	P100
MÁXIMO	39.58	65.80	105.17	140.15	6201.96
CA_1	38.70	38.77	38.98	40.27	787.62
CA_2	38.70	38.70	38.70	38.70	131.37
CA_3	38.70	38.70	38.73	39.03	126.39
CA_4	38.70	38.71	38.74	38.82	61.64
CA_5	38.70	38.71	38.75	38.93	111.05
CA_6	38.70	38.72	38.78	38.92	80.27

Figura 7-78 Diagramas de cajas y bigotes para los datos de concentración 1 hora de NO₂ proyectados por el modelo de dispersión de contaminantes en estaciones del SVCAI. (Escenario 2 sin medidas de control, Concentración de fondo incluida).

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

7.8.14.3 Monóxido de Carbono

Para las métricas horaria y octoraria, se observa que, en todos los receptores de interés, las medidas de tendencia central de los datos de concentración de CO indican que se cumplirá con los límites máximos establecidos por la resolución 2254 de 2017 del MADS para dichas métricas. Esta condición no prevalecerá en la presencia de condiciones más adversas de estabilidad atmosférica

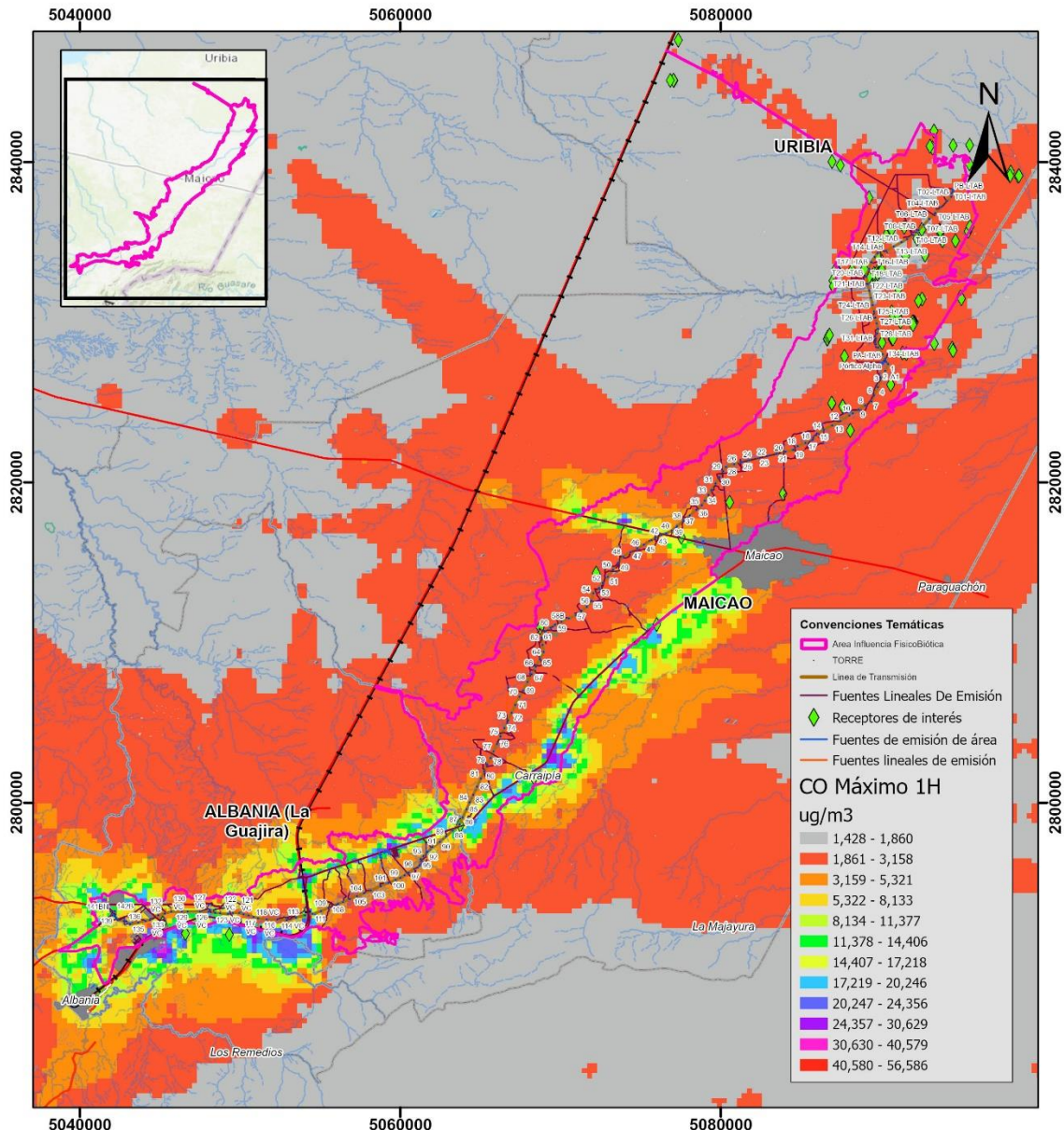
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL LÍNEA ELÉCTRICA DE CONEXIÓN PARQUES EÓLICOS BETA Y ALPHA A SUBESTACIÓN CUESTECITAS	
Versión 2	Noviembre 2024	

A pesar del incremento de emisiones de CO, la carga contaminante aportada no es suficiente para elevar la concentración en calidad del aire de dicho contaminante a niveles en los que sea probable generar riesgos de incumplimiento aun en métricas de corto plazo.

Los incrementos de la carga de emisiones de CO estarían sustentados en el incremento de las emisiones de maquinaria amarilla con motores diésel, al incremento de flujo vehicular en las vías asociadas al proyecto particular mente por el tráfico, las actividades de voladuras, la operación de los sistemas de generación eléctrica de combustión interna y en menor medida por el transporte helicoportado.

La **Figura 7-79, Figura 7-80, Figura 7-81 y Figura 7-82** presentan la cartografía temática de las salidas gráficas del modelo . Se observa que las mayores concentraciones de CO en calidad del aire pueden ser percibidas sobre vías, así como las áreas de montaje de torres.

La **Figura 7-83 y Figura 7-84** presentan la calidad del aire estimada en gráficos box plot. En general el diagrama de box plot, así como las isopletras para la métrica máximas indican una calidad del aire que siempre cumplirá con los estándares de la Resolución 2254 de 2017 del MADS.



Calidad Del Aire Proyectada CO Máximo 1H

Escenario de Contrucción sin medidas de control

Convenciones base cartográfica

Drenaje_Sencillo Lecho seco Via Tipo 2 Área Urbana
 Drenaje_Doble Via_Ferrea Via Tipo 1 Via Tipo 3 Limite Municipal

Escala: 1:320,000

5 3 0 5 Km.

Sistema de Coordenadas
MAGNA Colombia CTM12

LÍNEA ELÉCTRICA DE CONEXIÓN PARQUES EÓLICOS BETA Y ALPHA A LA SUBESTACIÓN CUESTECITAS

Figura 7-79 Calidad del Aire Proyectada CO 1Hora, Escenario 2.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

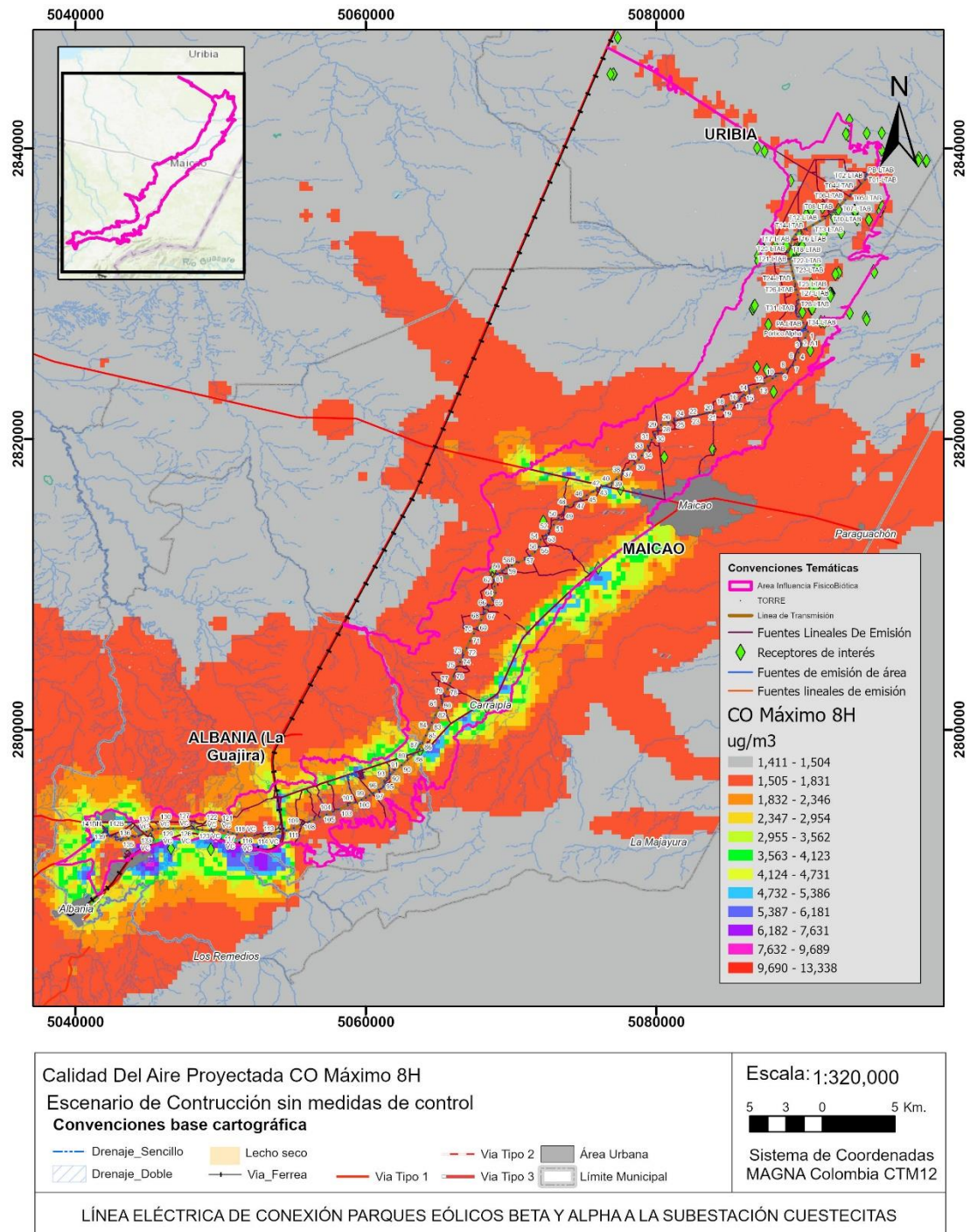


Figura 7-80 Calidad del Aire Proyectada CO 8 Horas, Escenario 2.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

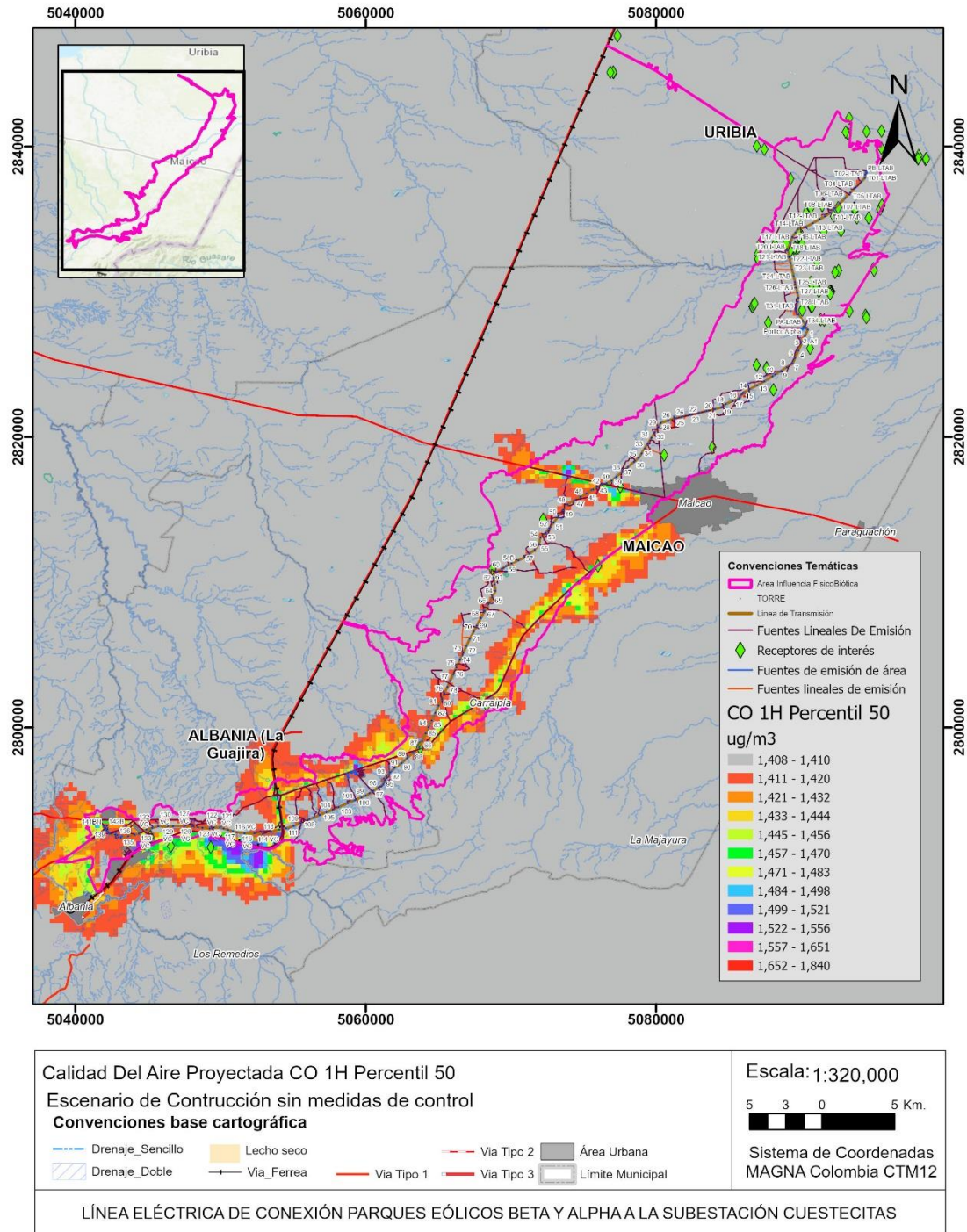


Figura 7-81

Calidad del Aire Proyectada CO 1Hora percentil 50, Escenario 2.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

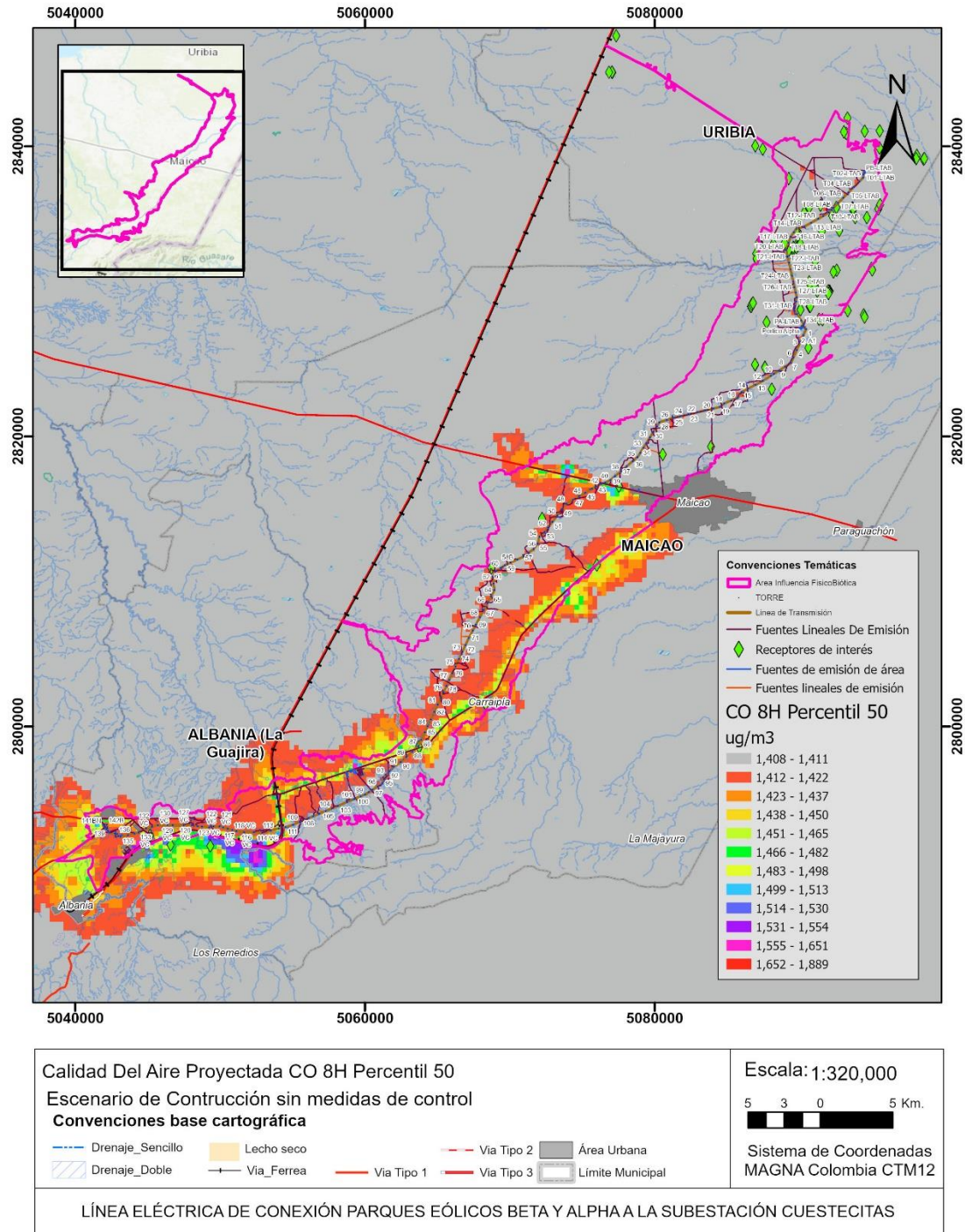
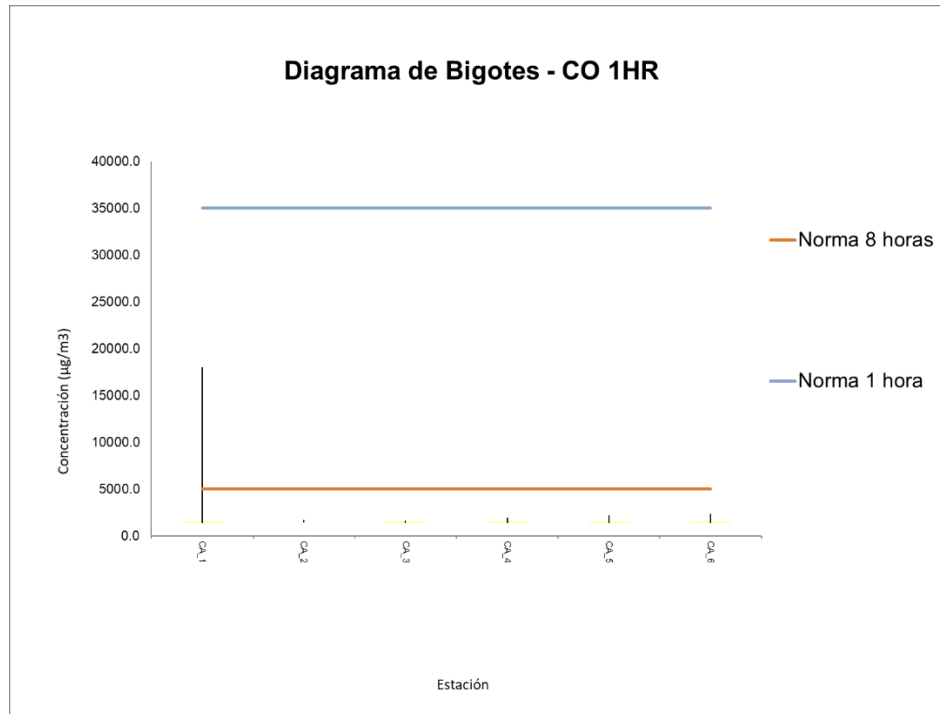


Figura 7-82

Calidad del Aire Proyectada CO 8 Hora percentil 50, Escenario 2.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024



Nombre de la estación	Concentración (µg/m³)				
	P1	P25	P50	P75	P100
MÁXIMO	1426.1	2005.8	2863.5	3640.1	137582.1
CA_1	1406.8	1408.3	1412.4	1440.8	18027.8
CA_2	1406.8	1406.8	1406.8	1406.8	1699.2
CA_3	1406.8	1406.9	1407.4	1408.0	1608.8
CA_4	1406.8	1406.9	1407.4	1408.8	1927.7
CA_5	1406.8	1407.0	1407.8	1411.2	2215.6
CA_6	1406.8	1407.1	1408.0	1410.8	2326.1

Figura 7-83 Diagramas de cajas y bigotes para los datos horarios de concentración de CO proyectados por el modelo de dispersión de contaminantes en estaciones del SVCAI. (Concentración de fondo incluida).

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

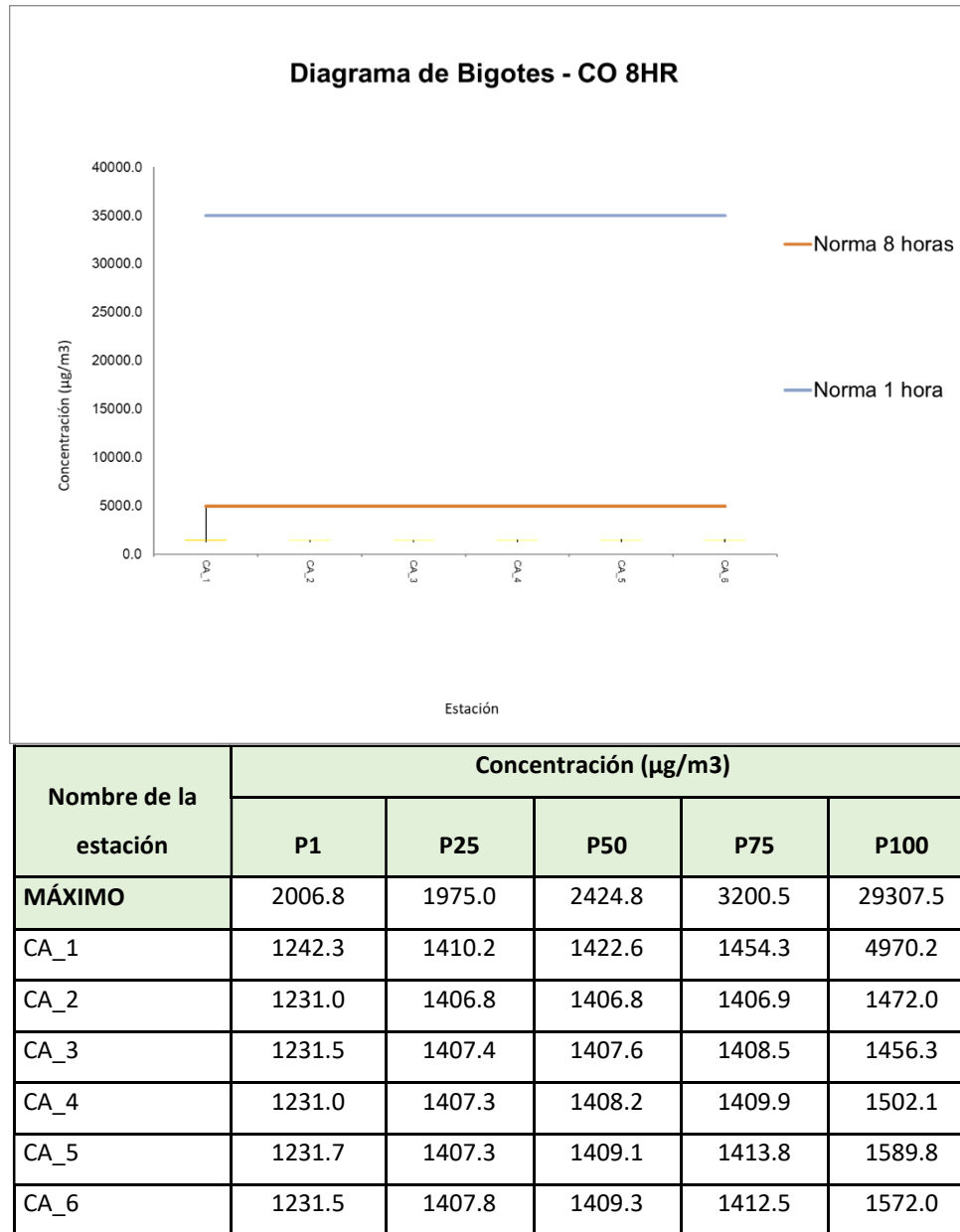


Figura 7-84 Diagramas de cajas y bigotes para los datos octorarios de concentración de CO proyectados por el modelo de dispersión de contaminantes en estaciones del SVCAI. (Concentración de fondo incluida).

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

7.8.14.4 Escenario 3. Construcción y operación del proyecto con medidas de control

En este escenario se evaluaron los aportes de las diferentes actividades de la fase constructiva (adecuación de accesos, voladuras, obras menores, y construcción/montaje de torres), tráfico vehicular existente, flota vehicular del proyecto y actividad del helicóptero Bell 212 destinado al transporte de materiales y personal, no obstante, se contemplan medidas de control de control de

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL LÍNEA ELÉCTRICA DE CONEXIÓN PARQUES EÓLICOS BETA Y ALPHA A SUBESTACIÓN CUESTECITAS	
Versión 2	Noviembre 2024	

velocidad para vehículos que circulen por las vías destapadas de acceso al proyecto. Los resultados gráficos presentados a continuación integran todos los aportes mencionados anteriormente, los cuales se pueden detallar en *3_Anexos\Cap. 07 Uso, demanda RRNN\7.8 Emisiones atmosféricas\Anexo 7.8-1 Aire*.

7.8.14.4.1 Material particulado PM10

Para el periodo de exposición anual, se observó que, en todos los receptores de interés, las medidas de tendencia central de los datos de concentración de PM10 indican que se cumplirá con los límites máximos establecidos por la resolución 2254 de 2017 para dicha métrica aun cuando se presente condiciones desfavorables de dispersión; hecho evidenciado en las isopletras que representan el promedio anual y el percentil 50 de las concentraciones diarias, así como en los diagramas de caja y bigotes. Al contrastar los resultados del modelo en el escenario 3 con respecto al escenario 2 se observan un descenso en la magnitud y en la frecuencia de la elevación de concentración de PM10 diario sustentada por las medidas de control de velocidad de vehículos de la flota vehicular del proyecto para control de emisiones por resuspensión de partículas.

La **Figura 7-85**, **Figura 7-86** y **Figura 7-87** presentan la cartografía temática de las salidas gráficas del modelo. Se observa que las mayores concentraciones de partículas PM10 en calidad del aire pueden ser percibidas principalmente sobre el trazado de la línea de montaje de torres simulada en este escenario, las cuales se constituyen como principales fuentes de emisión en la simulación del escenario junto con las vías de adecuación y las zonas destinadas a la detonación de explosivos (zona sur del proyecto). Por otra parte, en este escenario se mantienen los aportes nulos de los helipuertos simulados y cuya operación se asocia al transporte de materiales y personal durante las actividades de la fase constructiva del proyecto.

Los efectos de los aportes de la obra civil son de carácter temporal y estarían ligados a la duración de la misma, de tal forma que los riesgos de incremento en la concentración diaria proyectados por el modelo, solo se harán probables en este periodo en función de las categorías de estabilidad atmosférica observables.

La **Figura 7-88** presenta la calidad del aire estimada en gráficos box plot. En general el diagrama de box plot, así como las isopletras para la métrica media anual y percentil 50 indican una calidad del aire que típicamente cumplirá con los estándares de la Resolución 2254 de 2017 del MADS; mientras que las isopletras correspondientes al máximo diarios así como los percentiles 100 del box plot establecen riesgos de incumplimiento de la norma diaria en ciertas áreas del dominio de modelación bajo condiciones desfavorables de estabilidad atmosférica, las cuales son poco frecuentes en horario diurno, en el cual se desarrolla la actividad de las fuentes de emisión consideradas en el escenario 2.

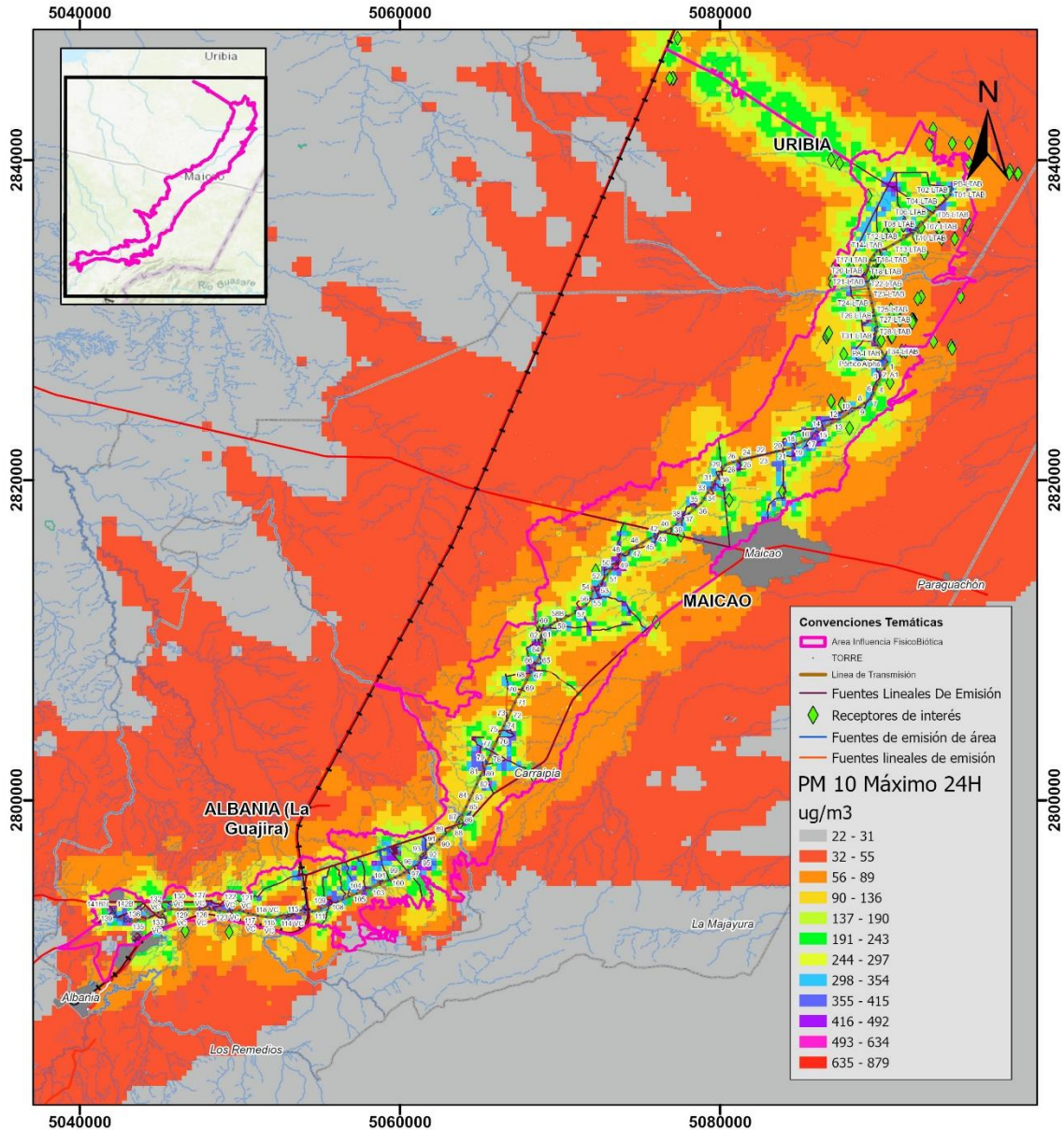


Figura 7-85

Calidad del Aire Proyectada PM10 máximo diario, Escenario 3.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

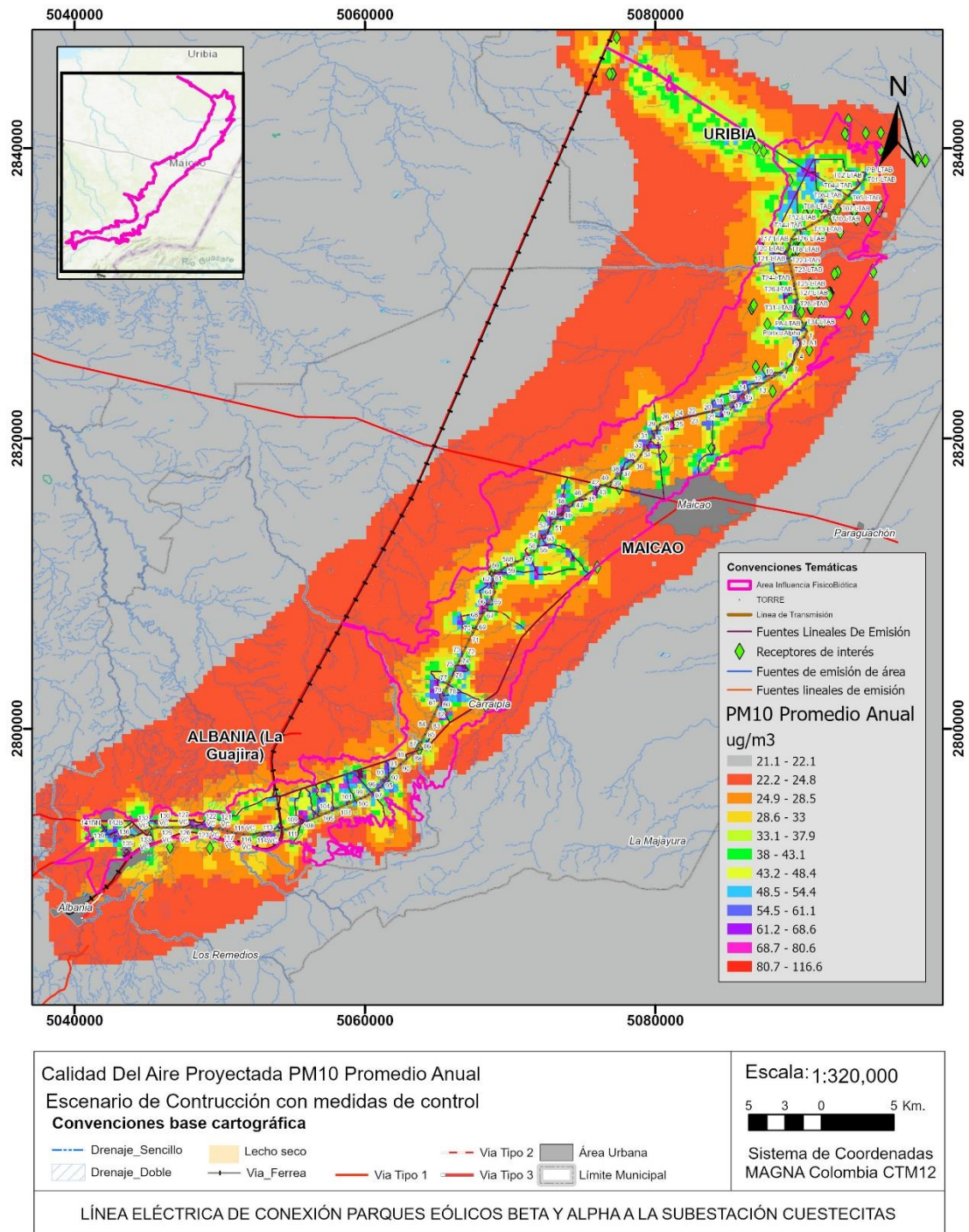


Figura 7-86

Calidad del Aire Proyectada PM10 Promedio Anual, Escenario 3.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

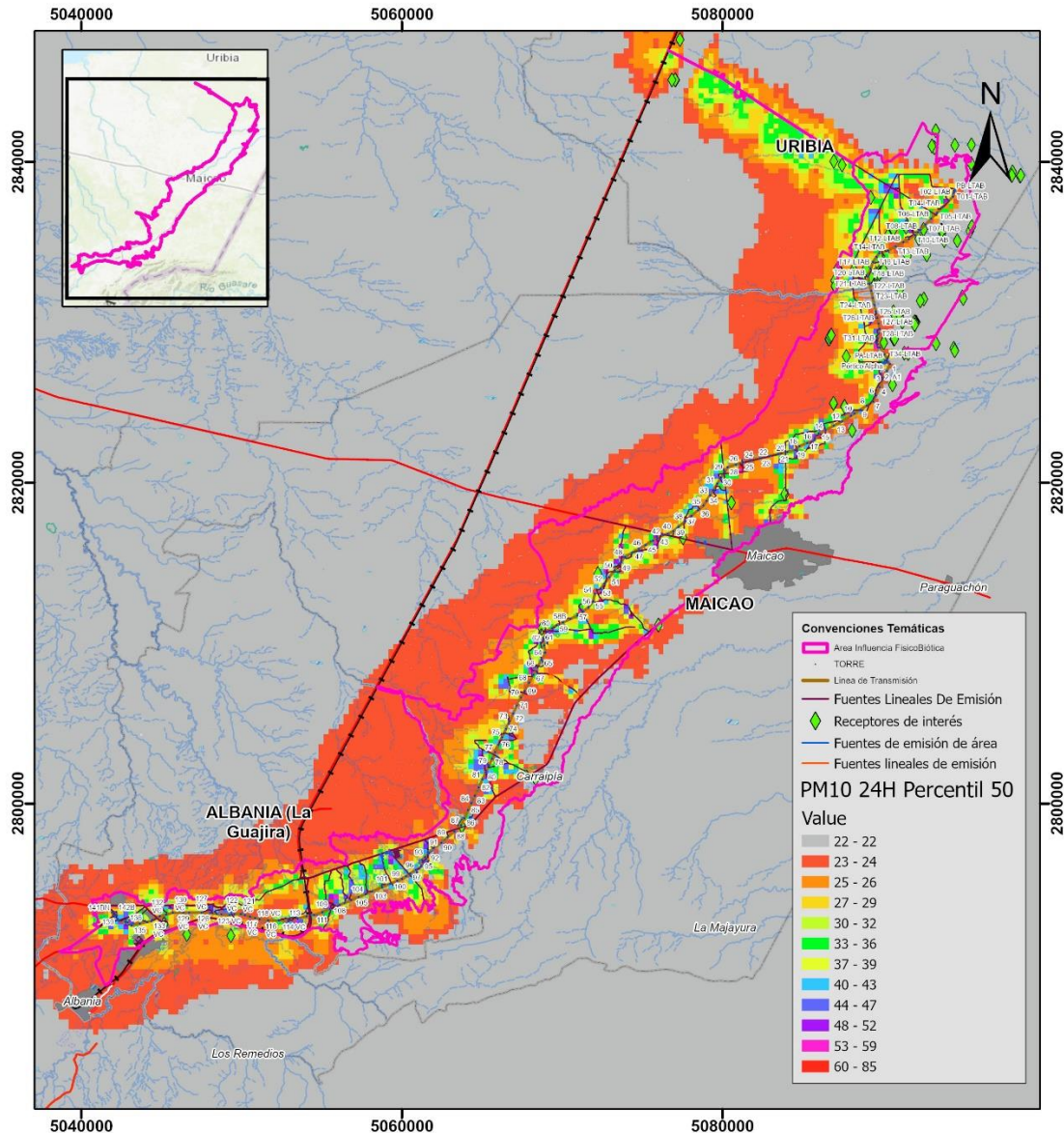


Figura 7-87 Calidad del Aire PM10 proyectado percentil 50 de los datos diarios, Escenario 3

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

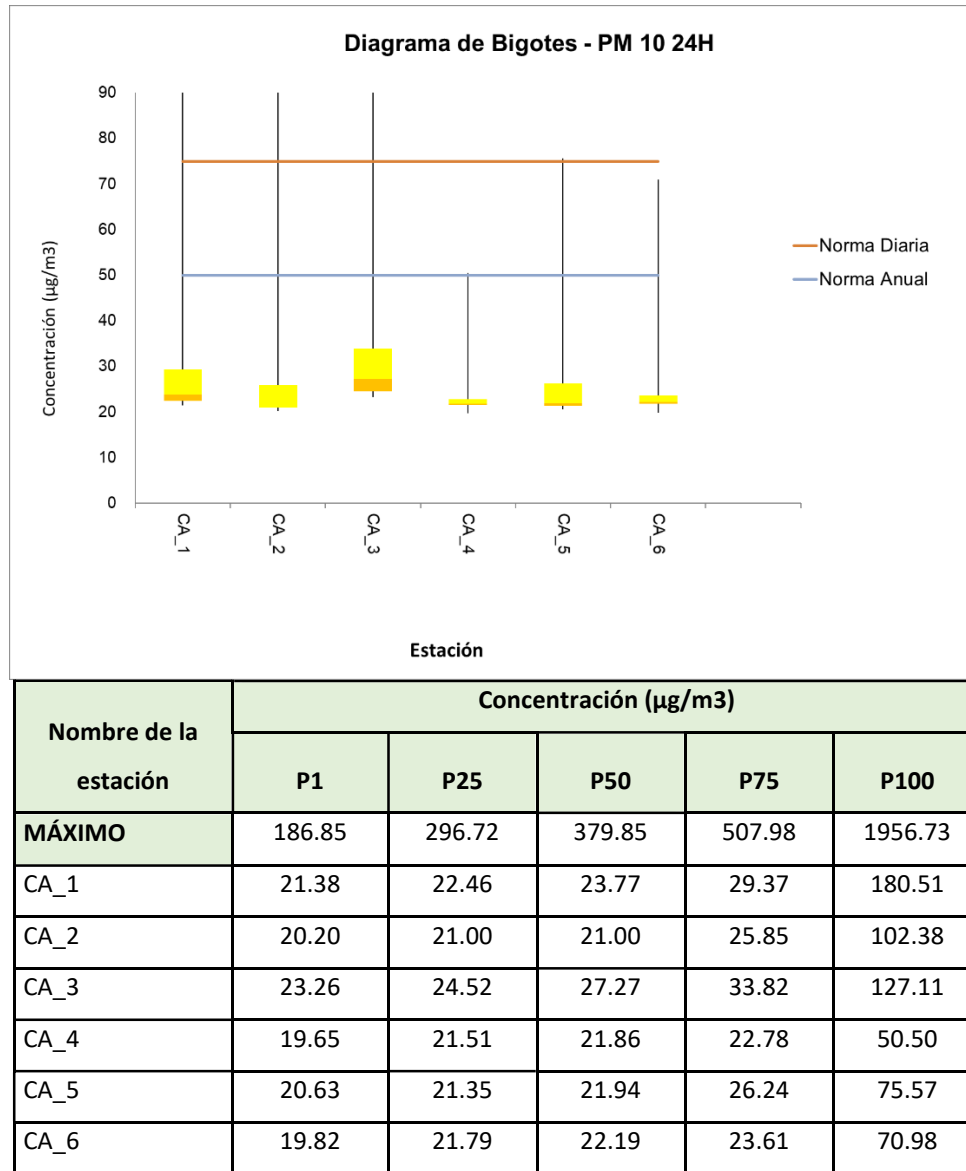


Figura 7-88 Diagramas de cajas y bigotes para los datos de concentración 24 h de PM10 proyectados por el modelo de dispersión de contaminantes en estaciones del SVCAI. (Concentración de fondo incluida)

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

7.8.14.4.2 Material particulado PM2.5

Para el periodo de exposición anual, se observa que, en todos los receptores de interés, las medidas de tendencia central de los datos de concentración de PM 2,5 indican que se cumplirá con los límites máximos establecidos por la resolución 2254 de 2017 del MADS para dicha métrica aun cuando se presente condiciones desfavorables de dispersión; hecho evidenciado en las isopletras que representan el promedio anual y el percentil 50 de las concentraciones diarias, así como en los diagramas de caja y bigotes.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL LÍNEA ELÉCTRICA DE CONEXIÓN PARQUES EÓLICOS BETA Y ALPHA A SUBESTACIÓN CUESTECITAS	
Versión 2	Noviembre 2024	

Los episodios diarios de incremento de concentración de PM_{2,5} en la calidad del aire no sobrepasan los límites normativos, esto estarían sustentado en las medidas de control contempladas (humectación de vías destapadas en las cuales circula la flota vehicular del proyecto). Por otro lado, se evidencia que en este escenario priman los aportes asociados al montaje de torres, actividades de adecuación de accesos y actividades voladuras, en donde hay desprendimiento de material particulado a la atmosfera.

Al contrastar los resultados del modelo en el escenario 3 con respecto al escenario 2 se observan un descenso en la magnitud y en la frecuencia de la elevación de concentración de PM_{2,5} diario sustentada por las medidas de control de velocidad de vehículos del proyecto para el control de emisiones por resuspensión de partículas.

Al contrastar los resultados del modelo en el escenario 3 con respecto al escenario 2 se observan un descenso en la magnitud y en la frecuencia de la elevación de concentración de PM_{2,5} diario sustentada por los controles de emisiones por resuspensión de partículas.

La **Figura 7-89, Figura 7-90 y Figura 7-91** presentan la cartografía temática de las salidas gráficas del modelo. Se observa que las mayores concentraciones de partículas PM_{2,5} en calidad del aire pueden ser percibidas sobre vías destapadas, las cuales se constituyen como principales fuentes de emisión en la simulación del escenario base.

La **Figura 7-92** presenta la calidad del aire estimada en gráficos box plot. En general el diagrama de box plot, así como las isopletras para la métrica media anual y percentil 50 indican una calidad del aire que típicamente cumplirá con los estándares de la Resolución 2254 de 2017 del MADS; mientras que las isopletras correspondientes al máximo diarios, así como los percentiles 100 del box plot establecen riesgos de incumplimiento de la norma anual, sin llegar a incumplirse la norma diaria.

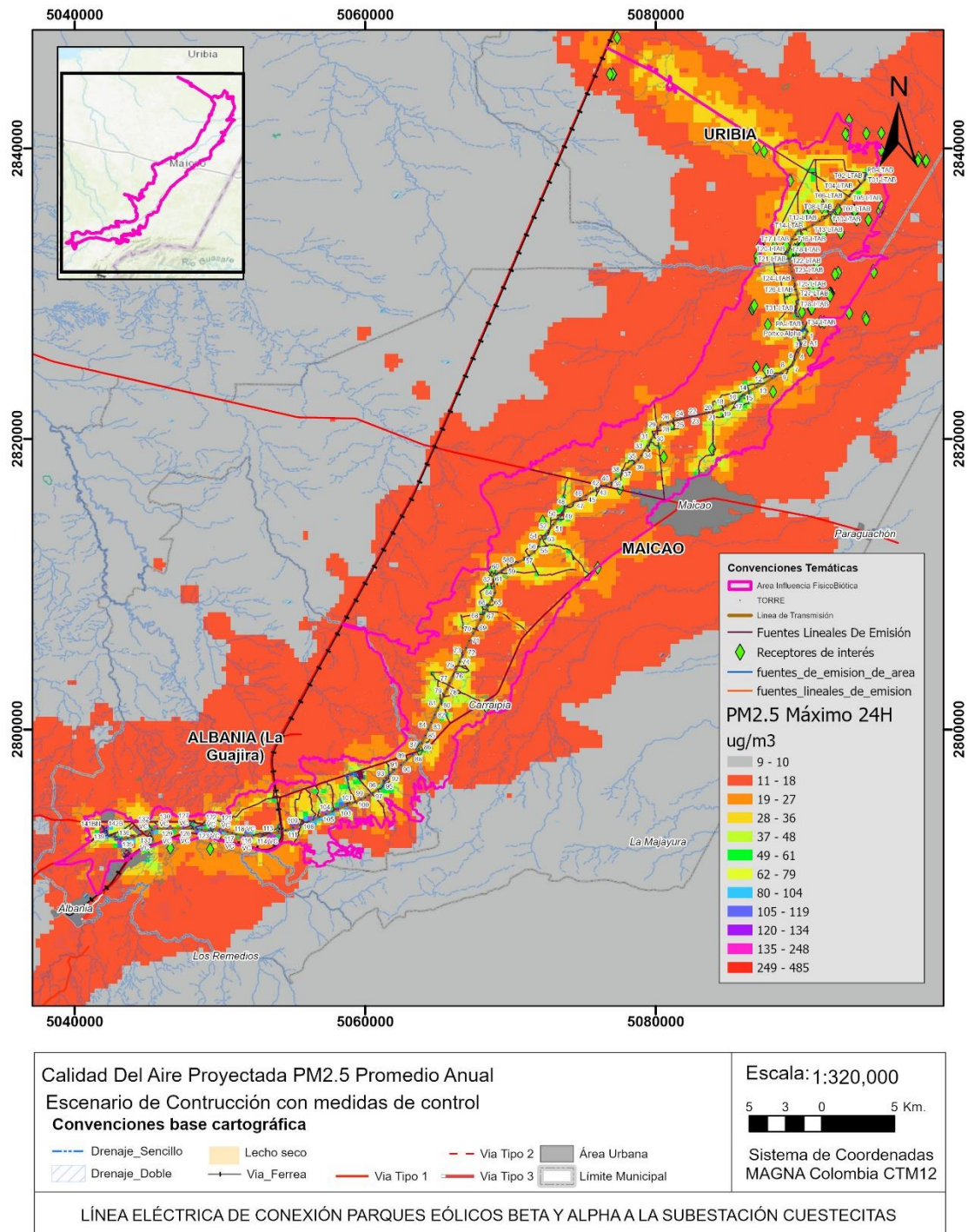


Figura 7-89

Calidad del Aire Proyectada PM2.5 máximo diario, Escenario 3.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

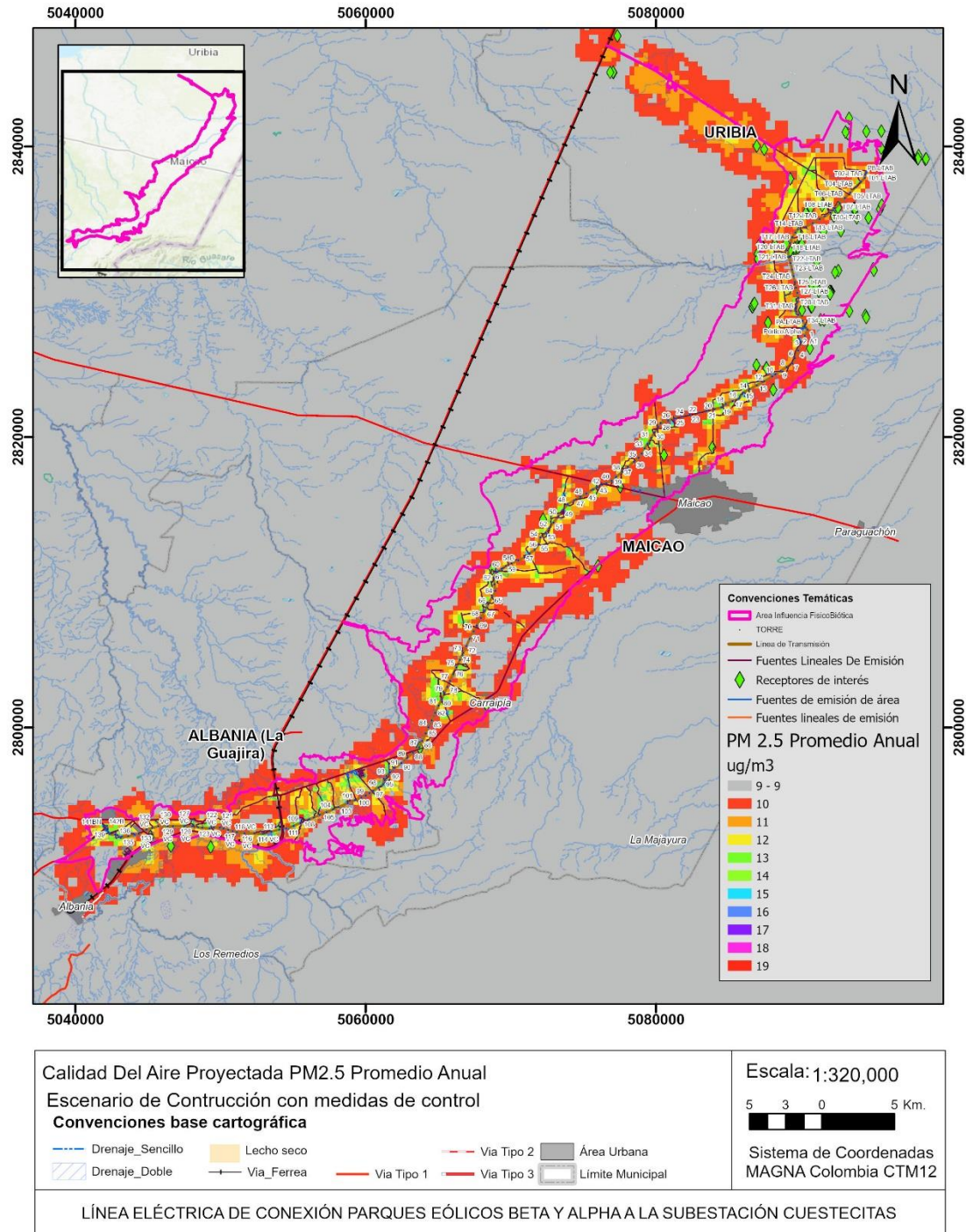


Figura 7-90

Calidad del Aire Proyectada PM2.5 Promedio Anual, Escenario 3.

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

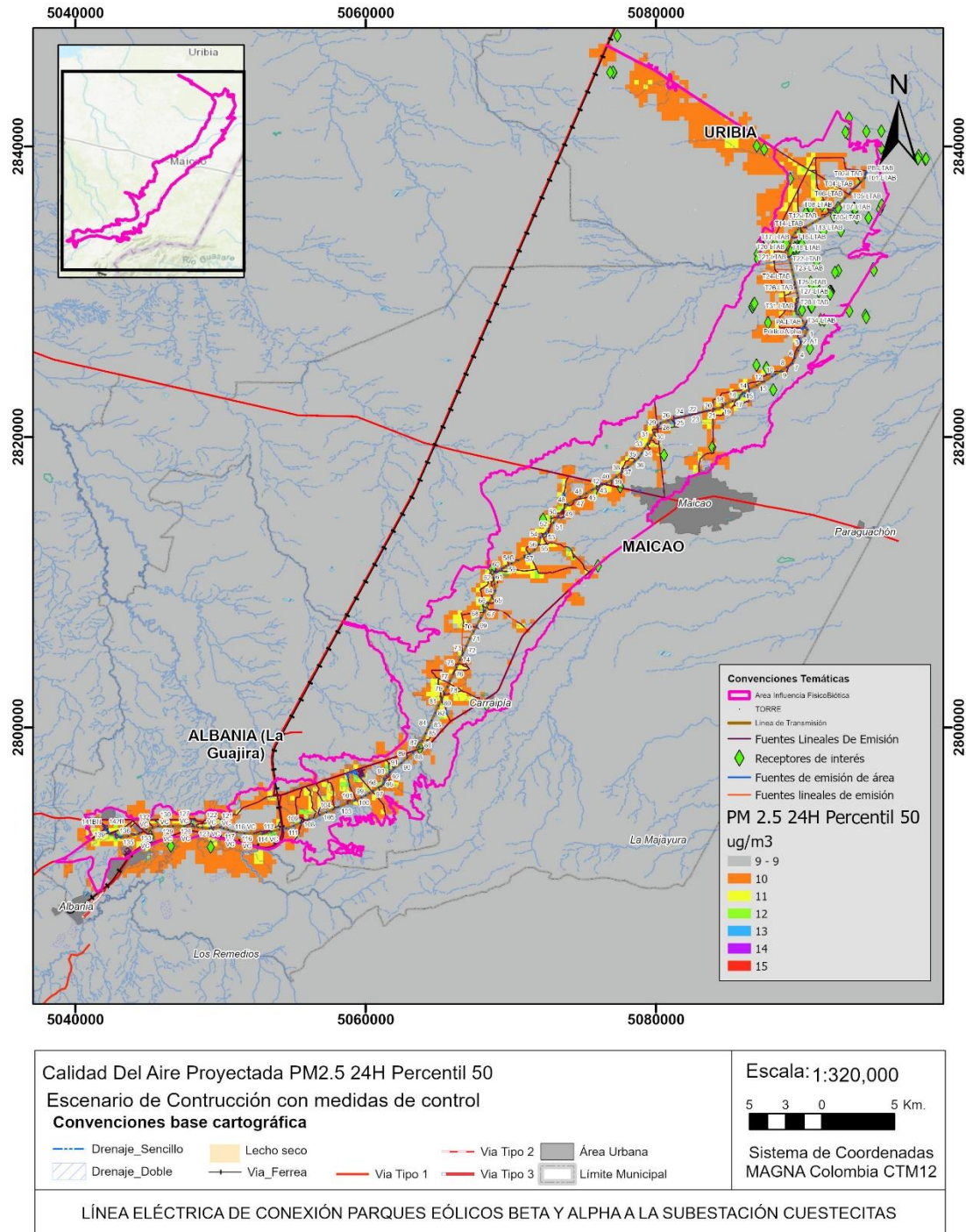


Figura 7-91 Calidad del Aire PM2.5 proyectado percentil 50 de los datos diarios, Escenario 3.
FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

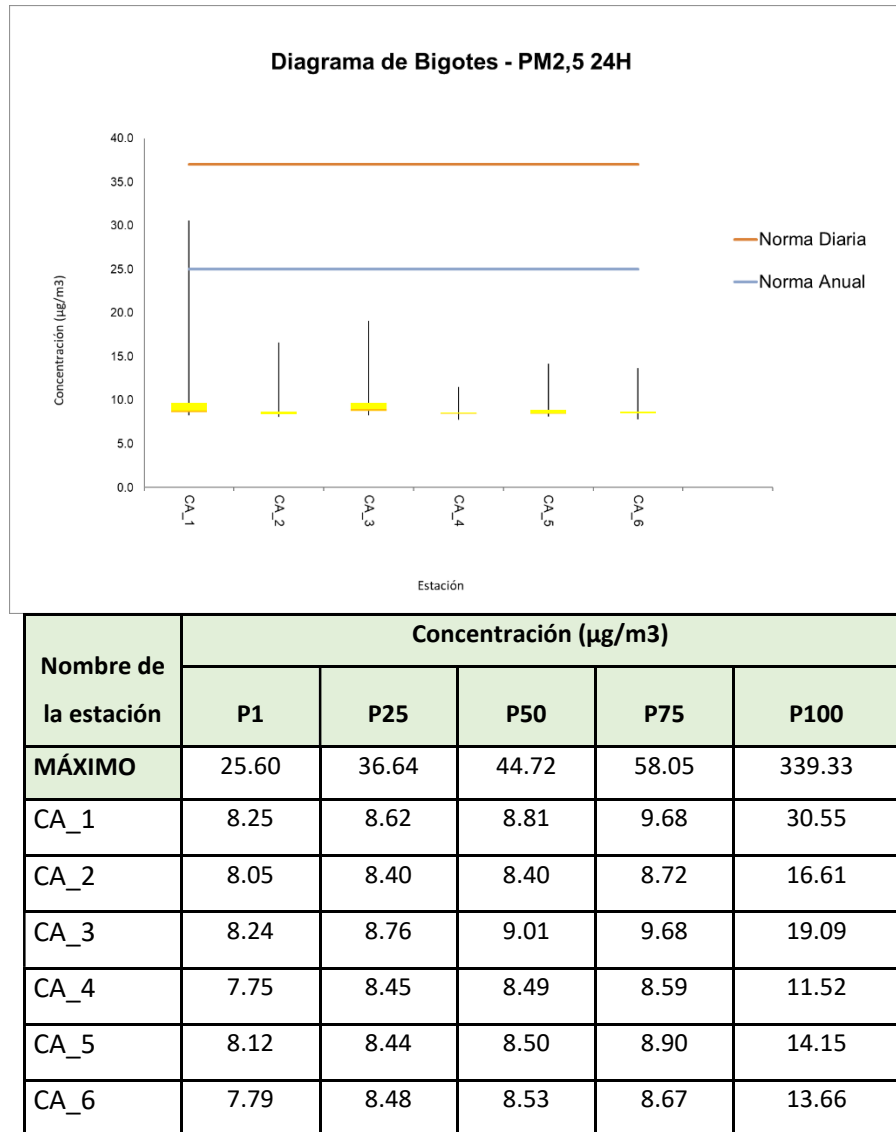


Figura 7-92 Diagramas de cajas y bigotes para los datos de concentración 24 h de PM 2,5 proyectados por el modelo de dispersión de contaminantes en estaciones del SVCAI. (Concentración de fondo incluida).

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024

7.8.15 Análisis de receptores In

Con el fin de evaluar los posibles impactos que pueda tener el proyecto en las zonas donde se ubican los receptores sensibles, se realiza una comparación de resultados en los periodos de exposición más prolongados respecto a los límites máximos permisibles que son establecidos, los cuales están estipulados en la resolución 2254 de 2017. Este análisis se realiza con los resultados del escenario de modelación más crítico, el cual corresponde a construcción sin medidas de control.

Tabla 7-28 Evaluación normativa de los resultados de modelación en los receptores sensibles

Receptor	PM10 Anual	Limite Normativo	Cumple	PM2.5 Anual	Limite Normativo	Cumple	CO 8H	Limite Normativo	Cumple	NO2 Anual	Limite Normativo	Cumple	SO2 24H	Limite Normativo	Cumple
10_A	23.4	50.0	Si	8.6	37.0	Si	1493.4	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
100_A	23.9	50.0	Si	8.7	37.0	Si	1510.2	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
101_A	23.0	50.0	Si	8.6	37.0	Si	1509.0	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
103_A	22.3	50.0	Si	8.5	37.0	Si	1480.0	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
105_A	24.0	50.0	Si	8.7	37.0	Si	1511.7	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
108_A	26.2	50.0	Si	8.9	37.0	Si	1543.7	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.4	50.0	Si
109_A	26.9	50.0	Si	9.0	37.0	Si	1479.6	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
111_A	22.5	50.0	Si	8.5	37.0	Si	1471.4	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
113_A	22.5	50.0	Si	8.6	37.0	Si	1440.7	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
115_A	21.5	50.0	Si	8.5	37.0	Si	1430.8	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
118_A	21.4	50.0	Si	8.4	37.0	Si	1464.3	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
120_A	21.4	50.0	Si	8.4	37.0	Si	1462.9	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
124_A	23.8	50.0	Si	8.7	37.0	Si	1485.7	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
126_A	23.9	50.0	Si	8.7	37.0	Si	1487.5	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
128_A	22.6	50.0	Si	8.6	37.0	Si	1520.0	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
13_A	85.8	50.0	No	15.0	37.0	Si	1571.8	5000.0	Si	40.5	60.0	Si	13.7	50.0	Si
130_A	25.2	50.0	Si	9.5	37.0	Si	6217.7	5000.0	No	44.4	60.0	Si	15.4	50.0	Si
134_A	37.0	50.0	Si	10.0	37.0	Si	1583.2	5000.0	Si	39.1	60.0	Si	13.4	50.0	Si
136_A	22.6	50.0	Si	8.6	37.0	Si	1520.0	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
138_A	23.8	50.0	Si	8.7	37.0	Si	1487.8	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
139_A	30.4	50.0	Si	9.6	37.0	Si	3451.1	5000.0	Si	41.1	60.0	Si	14.2	50.0	Si
14_A	30.4	50.0	Si	9.4	37.0	Si	1493.0	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.4	50.0	Si
141_A	22.3	50.0	Si	8.5	37.0	Si	1495.6	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
145_A	26.2	50.0	Si	8.9	37.0	Si	1542.2	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.4	50.0	Si
148_A	26.1	50.0	Si	9.1	37.0	Si	2660.6	5000.0	Si	40.7	60.0	Si	13.8	50.0	Si
15_A	26.4	50.0	Si	8.9	37.0	Si	1467.1	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
150_A	25.9	50.0	Si	9.1	37.0	Si	2575.5	5000.0	Si	40.6	60.0	Si	13.7	50.0	Si
152_A	28.8	50.0	Si	9.7	37.0	Si	3752.0	5000.0	Si	43.2	60.0	Si	14.3	50.0	Si
158_A	44.1	50.0	Si	11.0	37.0	Si	2465.3	5000.0	Si	41.0	60.0	Si	13.8	50.0	Si
16_A	26.3	50.0	Si	8.9	37.0	Si	1467.2	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
160_A	21.7	50.0	Si	8.5	37.0	Si	1494.9	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
162_A	22.5	50.0	Si	8.6	37.0	Si	1476.0	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
164_A	21.4	50.0	Si	8.4	37.0	Si	1458.7	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
168_A	22.2	50.0	Si	8.5	37.0	Si	1449.4	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
170_A	22.5	50.0	Si	8.6	37.0	Si	1462.4	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
172_A	23.6	50.0	Si	8.7	37.0	Si	1485.6	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
174_A	23.6	50.0	Si	8.7	37.0	Si	1486.2	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
176_A	22.2	50.0	Si	8.5	37.0	Si	1514.4	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
180_A	22.3	50.0	Si	8.5	37.0	Si	1496.2	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
182_A	26.8	50.0	Si	9.0	37.0	Si	1479.0	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
185_A	28.8	50.0	Si	9.2	37.0	Si	1495.7	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.4	50.0	Si
186_A	40.0	50.0	Si	10.3	37.0	Si	1500.6	5000.0	Si	39.0	60.0	Si	13.4	50.0	Si
187_A	26.4	50.0	Si	9.0	37.0	Si	1464.2	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
189_A	25.0	50.0	Si	8.8	37.0	Si	1470.9	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
19_A	21.7	50.0	Si	8.5	37.0	Si	1495.2	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
191_A	22.0	50.0	Si	8.5	37.0	Si	1485.6	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
192_A	25.4	50.0	Si	8.8	37.0	Si	1563.3	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
193_A	26.7	50.0	Si	9.0	37.0	Si	1519.2	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
194_A	24.8	50.0	Si	8.8	37.0	Si	1525.3	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
200_A	22.9	50.0	Si	8.6	37.0	Si	1486.3	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
201_A	22.9	50.0	Si	8.6	37.0	Si	1485.7	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
202_A	22.9	50.0	Si	8.6	37.0	Si	1487.0	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
203_A	22.9	50.0	Si	8.6	37.0	Si	1487.2	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
204_A	23.0	50.0	Si	8.6	37.0	Si	1488.8	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
205_A	23.0	50.0	Si	8.6	37.0	Si	1492.0	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
206_A	23.0	50.0	Si	8.6	37.0	Si	1490.2	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
207_A	23.0	50.0	Si	8.6	37.0	Si	1491.3	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
208_A	23.0	50.0	Si	8.6	37.0	Si	1488.4	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
209_A	23.0	50.0	Si	8.6	37.0	Si	1487.7	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
21_A	22.9	50.0	Si	8.6	37.0	Si	1481.9	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si

Receptor	PM10 Anual	Limite Normativo	Cumple	PM2.5 Anual	Limite Normativo	Cumple	CO8H	Limite Normativo	Cumple	NO2 Anual	Limite Normativo	Cumple	SO2 24H	Limite Normativo	Cumple
214_A	27.3	50.0	Si	9.0	37.0	Si	1510.3	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
215_A	25.0	50.0	Si	8.8	37.0	Si	1470.9	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
216_A	25.0	50.0	Si	8.8	37.0	Si	1471.5	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
217_A	25.1	50.0	Si	8.8	37.0	Si	1470.0	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
219_A	26.5	50.0	Si	9.0	37.0	Si	1465.1	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
220_A	26.5	50.0	Si	9.0	37.0	Si	1465.0	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
221_A	30.4	50.0	Si	9.4	37.0	Si	1471.9	5000.0	Si	38.9	60.0	Si	13.3	50.0	Si
222_A	27.2	50.0	Si	9.0	37.0	Si	1472.5	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.4	50.0	Si
223_A	27.0	50.0	Si	9.0	37.0	Si	1468.7	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.4	50.0	Si
224_A	27.5	50.0	Si	9.1	37.0	Si	1479.7	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.4	50.0	Si
225_A	26.0	50.0	Si	8.9	37.0	Si	1459.8	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
226_A	26.7	50.0	Si	9.0	37.0	Si	1470.7	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
227_A	26.0	50.0	Si	8.9	37.0	Si	1455.0	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
228_A	26.3	50.0	Si	8.9	37.0	Si	1467.5	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
229_A	26.4	50.0	Si	8.9	37.0	Si	1463.9	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
23_A	26.9	50.0	Si	9.0	37.0	Si	1496.1	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.4	50.0	Si
230_A	26.1	50.0	Si	8.9	37.0	Si	1470.0	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
231_A	23.7	50.0	Si	8.7	37.0	Si	1529.1	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
232_A	23.8	50.0	Si	8.7	37.0	Si	1543.8	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
233_A	23.6	50.0	Si	8.7	37.0	Si	1542.6	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
234_A	22.8	50.0	Si	8.6	37.0	Si	1506.0	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
235_A	22.8	50.0	Si	8.6	37.0	Si	1512.5	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
236_A	22.0	50.0	Si	8.5	37.0	Si	1484.3	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
237_A	26.8	50.0	Si	9.0	37.0	Si	1519.4	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
238_A	25.4	50.0	Si	8.8	37.0	Si	1563.5	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
25_A	24.7	50.0	Si	8.8	37.0	Si	1472.6	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
27_A	28.8	50.0	Si	9.2	37.0	Si	1465.6	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
284_A	23.4	50.0	Si	8.6	37.0	Si	1521.1	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
27_A	28.8	50.0	Si	9.2	37.0	Si	1465.6	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
29_A	39.0	50.0	Si	10.2	37.0	Si	1468.3	5000.0	Si	39.0	60.0	Si	13.4	50.0	Si
2_A	39.4	50.0	Si	10.3	37.0	Si	1607.4	5000.0	Si	39.1	60.0	Si	13.3	50.0	Si
31_A	23.5	50.0	Si	8.7	37.0	Si	1481.7	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
33_A	22.1	50.0	Si	8.5	37.0	Si	1467.3	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
35_A	26.6	50.0	Si	9.0	37.0	Si	1460.9	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
37_A	21.9	50.0	Si	8.5	37.0	Si	1505.8	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
39_A	22.6	50.0	Si	8.6	37.0	Si	1439.5	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
2_A	39.4	50.0	Si	10.3	37.0	Si	1607.4	5000.0	Si	39.1	60.0	Si	13.3	50.0	Si
39_A	22.6	50.0	Si	8.6	37.0	Si	1439.5	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
41_A	21.5	50.0	Si	8.5	37.0	Si	1430.7	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
43_A	21.4	50.0	Si	8.4	37.0	Si	1435.3	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.2	50.0	Si
43_A	21.4	50.0	Si	8.4	37.0	Si	1435.3	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.2	50.0	Si
45_A	21.5	50.0	Si	8.5	37.0	Si	1429.2	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
47_A	21.8	50.0	Si	8.5	37.0	Si	1507.7	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
52_A	22.4	50.0	Si	8.5	37.0	Si	1456.2	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
56_A	24.4	50.0	Si	8.8	37.0	Si	1514.4	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
58_A	23.4	50.0	Si	8.8	37.0	Si	2624.4	5000.0	Si	39.8	60.0	Si	13.9	50.0	Si
59_A	23.5	50.0	Si	8.7	37.0	Si	1504.0	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
60_A	31.2	50.0	Si	9.5	37.0	Si	1583.8	5000.0	Si	39.1	60.0	Si	13.3	50.0	Si
62_A	30.5	50.0	Si	9.4	37.0	Si	1495.3	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.4	50.0	Si
21_A	22.9	50.0	Si	8.6	37.0	Si	1481.9	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
27_A	28.8	50.0	Si	9.2	37.0	Si	1465.6	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
23_A	26.9	50.0	Si	9.0	37.0	Si	1496.1	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.4	50.0	Si
66_A	41.6	50.0	Si	10.5	37.0	Si	1521.1	5000.0	Si	39.1	60.0	Si	13.5	50.0	Si
69_A	28.9	50.0	Si	9.2	37.0	Si	1639.2	5000.0	Si	38.9	60.0	Si	13.4	50.0	Si
14_A	30.4	50.0	Si	9.4	37.0	Si	1493.0	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.4	50.0	Si
69_A	28.9	50.0	Si	9.2	37.0	Si	1639.2	5000.0	Si	38.9	60.0	Si	13.4	50.0	Si
15_A	26.4	50.0	Si	8.9	37.0	Si	1467.1	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
62_A	30.5	50.0	Si	9.4	37.0	Si	1495.3	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.4	50.0	Si
13_A	85.8	50.0	No	15.0	37.0	Si	1571.8	5000.0	Si	40.5	60.0	Si	13.7	50.0	Si
87_A	22.2	50.0	Si	8.5	37.0	Si	1515.7	5000.0	Si	38.7	60.0	Si	13.3	50.0	Si
16_A	26.3	50.0	Si	8.9	37.0	Si	1467.2	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si

Receptor	PM10 Anual	Limite Normativo	Cumple	PM2.5 Anual	Limite Normativo	Cumple	CO8H	Limite Normativo	Cumple	NO2 Anual	Limite Normativo	Cumple	SO2 24H	Limite Normativo	Cumple
90_A	28.9	50.0	Si	9.2	37.0	Si	1467.1	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.3	50.0	Si
60_A	31.2	50.0	Si	9.5	37.0	Si	1583.8	5000.0	Si	39.1	60.0	Si	13.3	50.0	Si
23_A	26.9	50.0	Si	9.0	37.0	Si	1496.1	5000.0	Si	38.8	60.0	Si	13.4	50.0	Si
66_A	41.6	50.0	Si	10.5	37.0	Si	1521.1	5000.0	Si	39.1	60.0	Si	13.5	50.0	Si
Cumplimiento (%)	98.4			100.0			99.2			100			100		

FUENTE: GEOCOL CONSULTORES S.A. 2024.

Con base en la anterior tabla y los resultados gráficos analizados en la sección anterior, se tiene que el impacto en receptores del proyecto es mínimo, y que los puntos donde se presenten excedencias normativas son debido a ubicación inmediata del receptor en cuestión respecto a la zona de operación del proyecto y a las vías principales y secundarias que se encuentran dentro del área de influencia.

Finalmente, en los anexos de modelación se puede detallar el análisis de receptores para la totalidad de los puntos de tejido urbano y su comportamiento, esto se realiza debido al elevado número de receptores.

7.8.16 Aseguramiento de la calidad

7.8.16.1 Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad es una técnica utilizada para determinar cómo diferentes valores de una variable independiente impactan en una variable dependiente particular bajo un conjunto dado de suposiciones. Dentro del contexto del presente informe, se realiza el análisis de sensibilidad con la finalidad de establecer la influencia de variables de entrada al modelo sobre los resultados obtenidos durante la simulación de dispersión de contaminantes en cada uno de los escenarios evaluados. Para realizar el análisis de sensibilidad se considera el esquema conceptual de AERMOD presentado en la Figura 7-93.

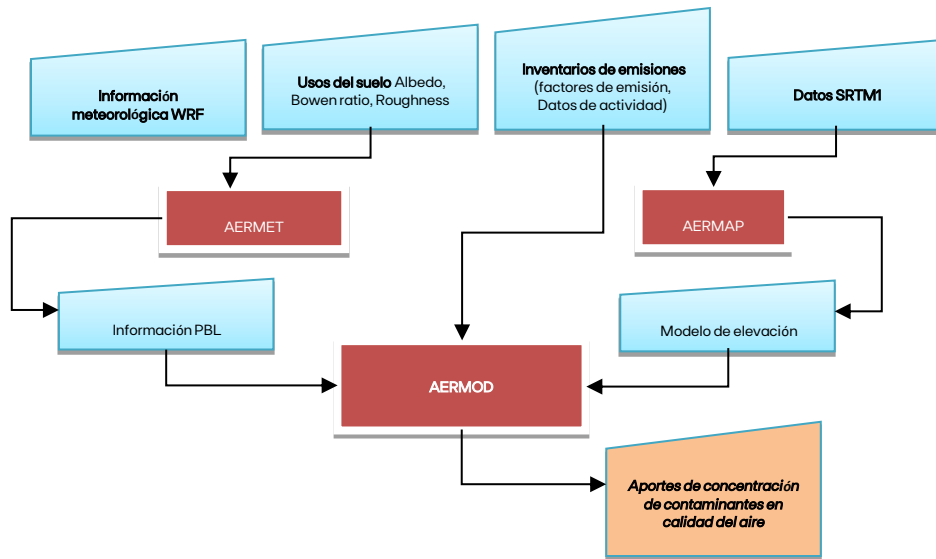


Figura 7-93 Modelo conceptual del AERMOD.

Fuente: GESTIÓN Y MEDIO AMBIENTE S.A.S. 2024

El análisis de sensibilidad para la simulación de dispersión de contaminantes con el modelo AERMOD se considerará las siguientes entradas de información:

- Información meteorológica WRF
- Uso del suelo
- Factores de emisión y factores de actividad
- Información topográfica

El análisis de la incertidumbre aportada por cada una de dichas variables se desarrolla en las secciones subsecuentes.

7.8.16.1.1 Uso del suelo

Las categorías de uso del suelo presentes en dominio de modelación aportan variables que definen las características de la capa límite para hectárea (PBL) en conjunto con los datos meteorológicos. Las propiedades que se definen como función de uso del suelo son:

- Rugosidad de la superficial (“Roughness”).
- Albedo
- Bowen ratio

La influencia del tipo uso del suelo sobre la estimación de la concentración de contaminantes atmosféricos calculada por AERMOD a partir de un conjunto de fuentes de emisión, se determinará evaluando los cambios en concentraciones máxima diaria y promedio anual causada por la simulación de una fuente de emisiones atmosféricas puntual con diversos archivos meteorológicos PFL y SFC. Dicho grupo de archivos se obtuvo mediante la implementación en AERMET de un conjunto de datos WRF procesados con diferentes valores de rugosidad, albedo y Bowen. Los rangos para cada una de las variables de uso del suelo se definen como los valores máximos y mínimos que se pueden asignar para un tipo de uso de suelo particular. Una vez obtenidos los archivos de datos con información obtenida con los mismos datos meteorológicos WRF con diferentes valores que pueden asumir la citadas variables, se procederá a realizar corridas del modelo AERMOD en condiciones idénticas en términos de fuentes de emisión, terreno, receptores, opciones de configuración y opciones de post procesamiento con la finalidad de evaluar la variación de los máximos valores de concentración obtenidos para cada uno de los conjuntos de datos de capa límite planetaria PBL.

La Tabla 7-29 presenta los rangos de los valores que se pueden asignar para variables de rugosidad, albedo y Bowen ratio para bosques caducifolios. Como valores medios de cada variable se toman los datos reportados para bosques caducifolios en esta acción de primavera; considerando que en el territorio nacional rara vez se presentaran condiciones en las cuales y la cobertura del suelo asuma valores característicos de temporadas invernales o de otro año en países con estaciones.

Tabla 7-29 Valores de las variables características del uso del suelo utilizadas en el análisis de sensibilidad.

	Mínimo	Promedio	Máximo
“Albedo”	0,12	0,215	0,5
“Roughnes”	0,5	1	1,3
“Bowen ratio”	0,3	0,7	1,5

Fuente: GESTIÓN Y MEDIO AMBIENTE S.A.S. 2024

La Tabla 7-30 presenta la relación de cada uno de los ensayos realizados mediante el procedimiento descrito y los resultados para las concentraciones proyectadas promedio anual y máxima 24 horas para el contaminante PM₁₀. Las figuras a continuación, presentan la respuesta de las concentraciones medias anual de PM₁₀ y máxima de 24 horas en función de las variables albedo, Rugosidad y Bowen ratio; así como las isopletras obtenidas para cada uno de los ensayos. En los anexos de modelación (3_Anexos\Cap. 07 Uso, demanda RRNN\7.8 Emisiones atmosféricas\Anexo 7.8-1 Aire), se presentan los cálculos en los resultados gráficos de cada una de las corridas realizadas con AERMOD.

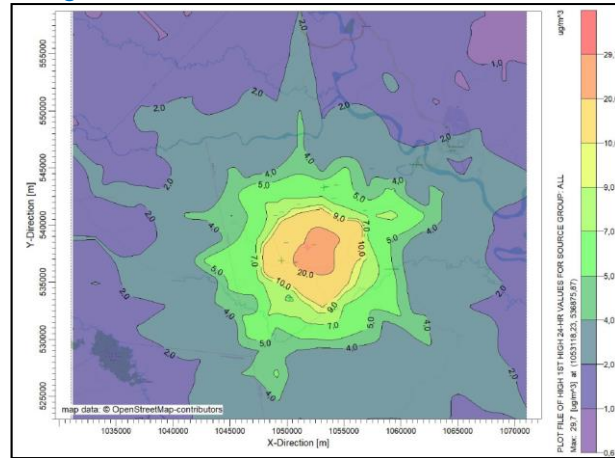
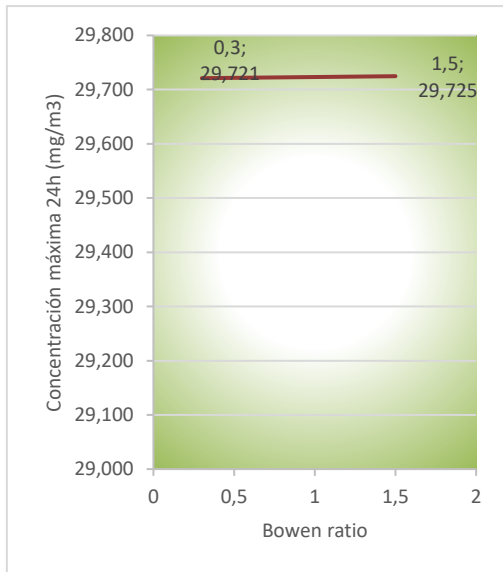
Tabla 7-30 Valores de las variables características del uso del suelo utilizadas en el análisis de sensibilidad.

Ensayo	Albedo	Bowen ratio	Roughnes	Concentración máxima		Relación de cambio	
				24h	Anual	24h	Anual
1	0,215	0,3	1	29,7	6,07		
2	0,215	1,5	1	29,7	5,98	0,01%	-1,5%
3	0,215	0,7	0,5	36,6	5,99		
4	0,215	0,7	1,3	28,5	5,45	-28,4%	-9,9%
5	0,12	0,7	1	27,9	5,95		
6	0,5	0,7	1	31,3	6,17	10,9%	3,6%

Fuente: GESTIÓN Y MEDIO AMBIENTE S.A.S. 2024

Para la respuesta del modelo AERMOD en términos de la concentración máxima en 24 horas se observó un incremento del 0,1% para la variable Bowen ratio de 0,3 unidades a 1,5 unidades. La misma variación de la Bowen Ratio produjo un descenso del 1,5 % en el promedio anual de PM₁₀ predicho por el modelo AERMOD. A continuación se presentan los cambios de concentraciones en media anual y máximo 24 horas de PM₁₀ respectivamente en función de la “Bowen Ratio”.

Máximo 24h. Albedo=0,215; Bowen Ratio=0,3;
Roughness=1,0



Máximo 24h. Albedo=0,215; Bowen Ratio=1,5;
Roughness=1,0

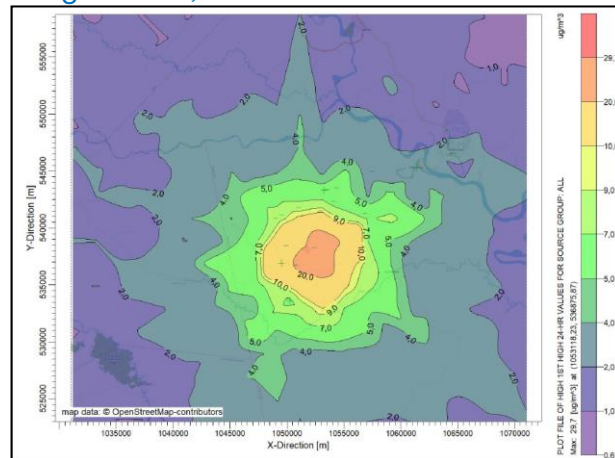
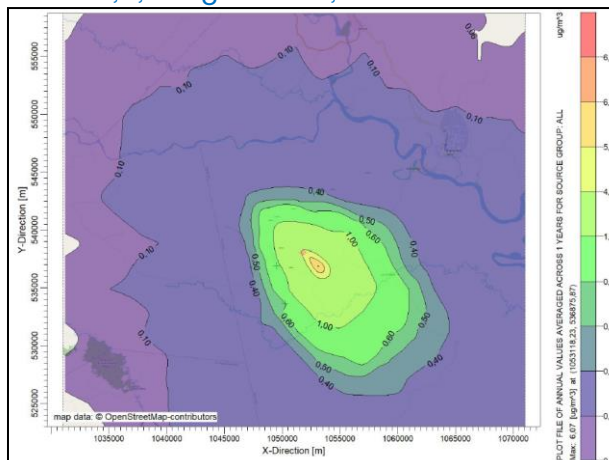
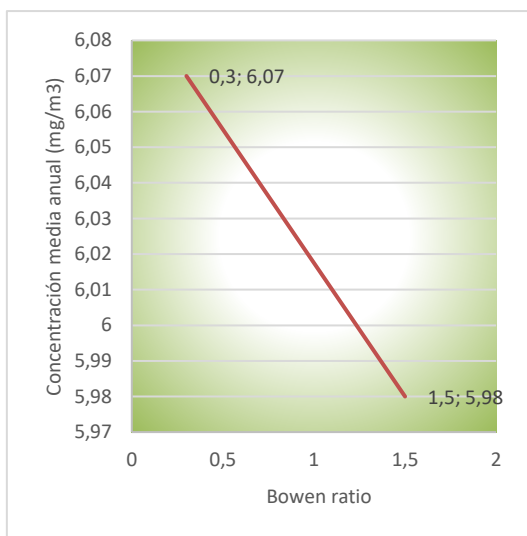


Figura 94

Valores de las variables características del uso del suelo utilizadas en el análisis de sensibilidad.

Promedio anual. Albedo=0,215; Bowen
Ratio=0,3; Roughness= 1,0



Promedio anual. Albedo=0,215; Bowen
Ratio=1,5; Roughness= 1,0

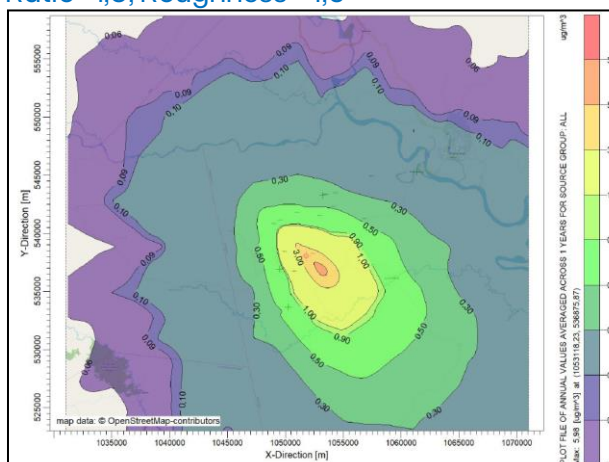
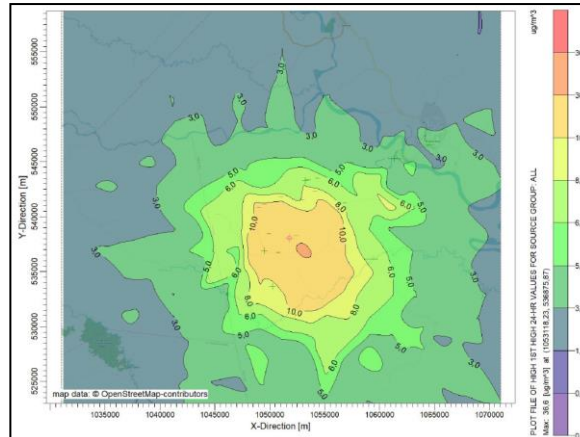
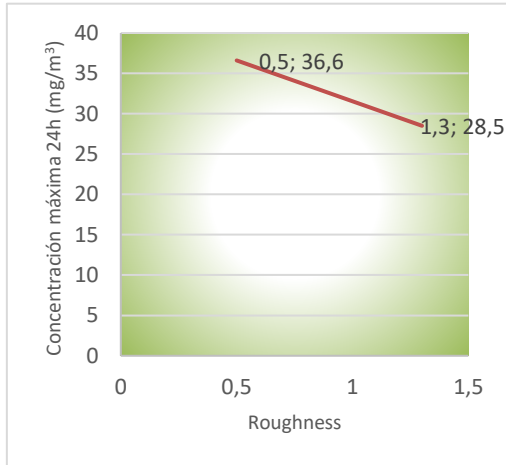


Figura 95 Valores de las variables características del uso del suelo utilizadas en el análisis de sensibilidad.

Para la respuesta del modelo AERMOD en términos de la concentración máxima en 24 horas se observó un descenso del 28,4 % para un incremento de la rugosidad en el intervalo de 0,5 unidades a 1,3 unidades. La misma variación de la rugosidad produjo un descenso del 9,9 % en el promedio anual de PM10 predicho por el modelo AERMOD. A continuación se presentan los cambios de concentraciones en media anual y máximo 24 horas de PM10 respectivamente en función de la Bowen Ratio.

Máximo 24h. Albedo=0,215; Bowen
Ratio=0,7



Máximo 24h. Albedo=0,215; Bowen
Ratio=0,7; Roughness= 1,3

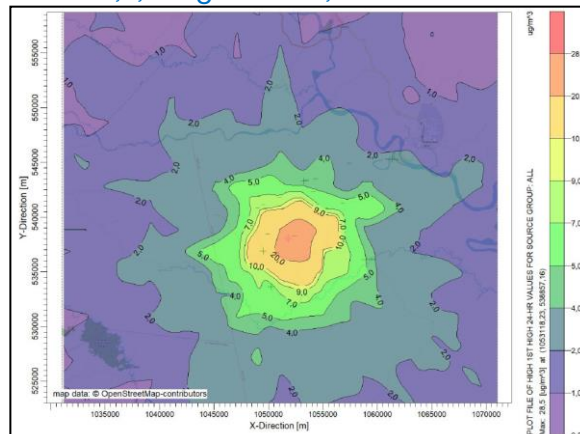
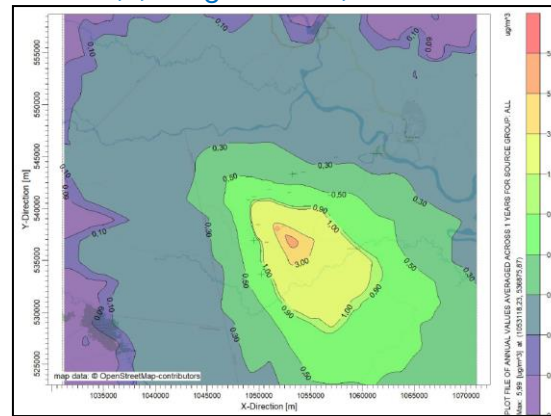
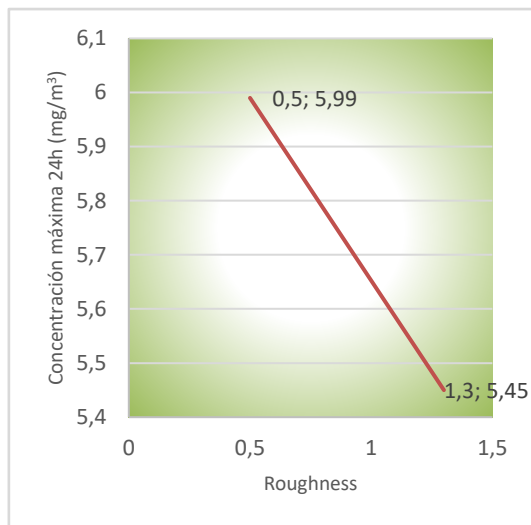


Figura 96 Variación de la concentración máxima proyectada a 24 horas por AERMOD en función de Rugosidad.

Promedio anual. Albedo=0,215; Bowen
Ratio=0,7; Roughness= 0,5



Promedio anual. Albedo=0,215; Bowen
Ratio=0,7; Roughness= 1,3

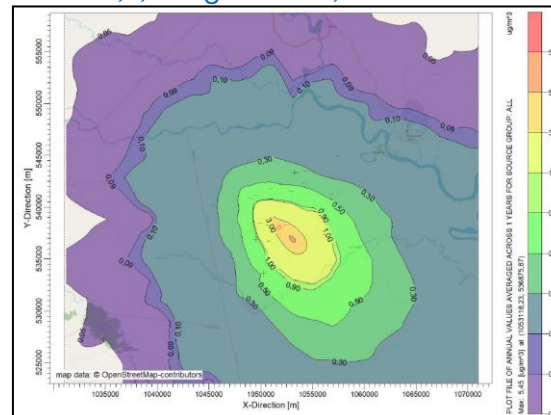
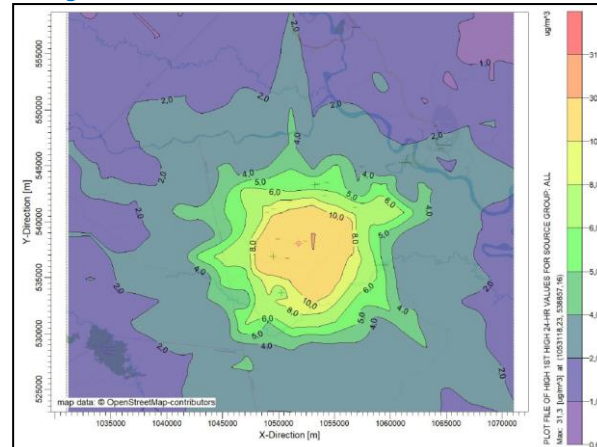
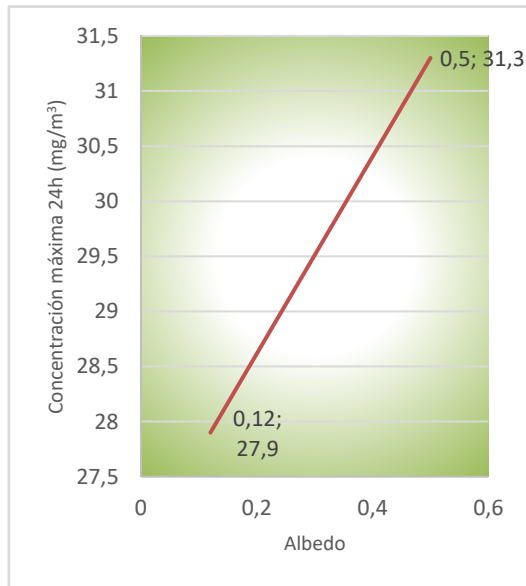


Figura 97 Variación de la concentración máxima proyectada promedio anual por AERMOD en función de Rugosidad.

Para la respuesta del modelo AERMOD en términos de la concentración máxima en 24 horas se observó un descenso del 10,9% para un incremento del albedo en el intervalo de 0,12 unidades a 0,5 unidades. La misma variación de la rugosidad produjo un descenso del 3,6 % en el promedio anual de PM10 predicho por el modelo AERMOD. A continuación, presentan los cambios de concentración en media anual y máximo 24 horas de PM10 respectivamente en función del albedo.

Máximo 24h. Albedo=0,5; Bowen Ratio=0,7;
Roughness=1,0



Máximo 24h. Albedo=0,12; Bowen
Ratio=0,7; Roughness=1,0

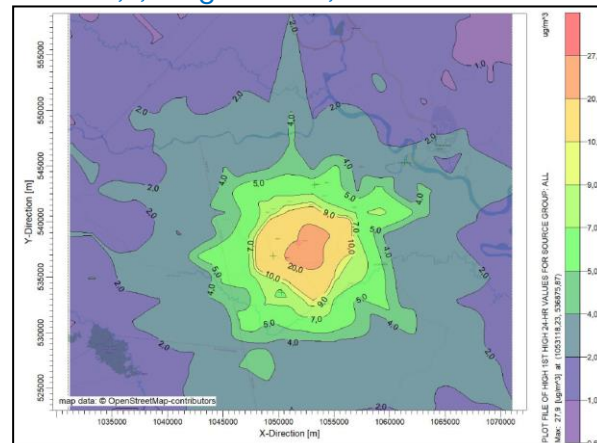
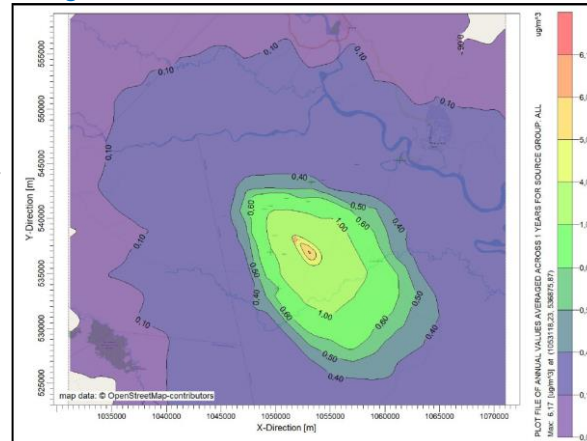
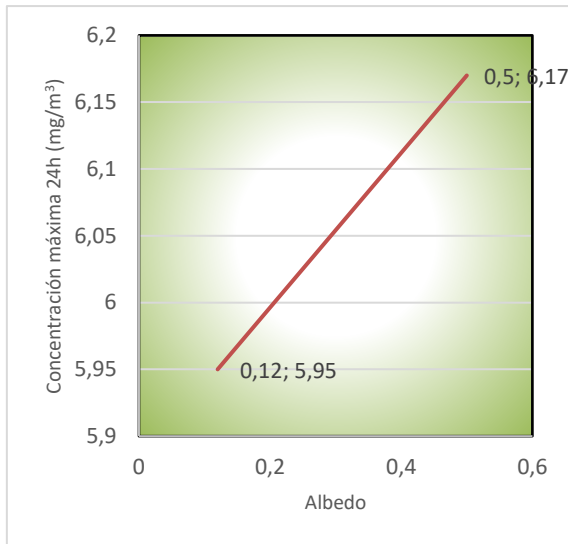


Figura 98 Variación de la concentración máxima proyectada a 24 horas por AERMOD en función de Albedo

Media anual. Albedo=0,5; Bowen Ratio=0,7;
Roughness= 1,0



Medio anual. Albedo=0,12; Bowen
Ratio=0,7; Roughness= 1,0

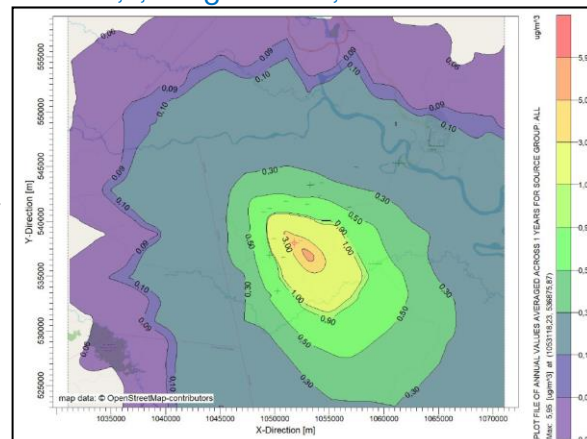


Figura 99

Variación de la concentración máxima proyectada a promedio anual por AERMOD en función de Albedo.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL LÍNEA ELÉCTRICA DE CONEXIÓN PARQUES EÓLICOS BETA Y ALPHA A SUBESTACIÓN CUESTECITAS	
Versión 2	Noviembre 2024	

7.8.16.1.2 Meteorología

En el caso particular de la meteorología, por definición la influencia de las variables meteorológicas en los resultados del modelo es determinante; toda vez que AERMET determinar las variables de capa límite planetaria en función de dicha información. También es importante considerar la resolución temporal de la información meteorológica requerida por AERMET y desde luego por AERMOD, los que requieren información horaria durante todo el tiempo de la simulación. En Colombia no es común contar con información meteorológica con resolución temporal que permita tener tratos de procesamiento para AERMET. En este contexto, se utilizan datos de modelos de pronóstico meteorológico a tales como a WRF. La guía de implementación del modelo AERMOD **Fuente especificada no válida**, permite el uso de datos pronósticos para las aplicaciones reguladas de AERMOD donde es prohibitivo o no es posible recopilar datos meteorológicos que cumplan los requerimientos de información de AERMOD.

Para reducir la incertidumbre de la información meteorológica a prola Guajira por AERMET y, por consiguiente, los efectos sobre los valores de las concentraciones proyectadas por AERMOD, se considera el uso de modelo de pronóstico meteorológico WRF (*“Weather Research and Forecasting”*). Como referencia de cálculo para el modelo WRF, se toma un punto localizado en el centro del dominio de modelación formulado para el presente estudio, utilizando una resolución de 6 kilómetros.

La información meteorológica adquirida del modelo doble WRF es contrastada con información meteorológica disponible del IDEAM. Dicha práctica ha sido realizada por el proveedor de la información (METEOCOLOMBIA S.A.S).

El modelo de elevación utilizado para la modelación SRTM1/SRTM3 es adecuado para dominios de modelación en zonas rurales, en las cuales la presencia de edificaciones; no introduce error en las curvas de nivel, razón por la cual se espera que los errores en alturas de receptores y de fuentes de emisión sean despreciables, de igual manera, lo son las variaciones de concentración de material particulado PM₁₀ y PM_{2.5} por variables topográficas. La topografía y el modelo SRTM1/SRTM3 presentan un error intrínseco, y precisamente el análisis de sensibilidad pretende establecer la magnitud de este, que como se pudo evidenciar es baja para curvas de nivel con errores máximos de 1 metro de elevación; sin embargo, el modelo puede hacerse muy sensible en la medida que los valores de altitud reportado por la coordenada z del modelo de elevación, difieran del valor real.

7.8.16.1.3 Incertidumbre asociada a factores de emisión

La sensibilidad de los resultados de concentración reportados por AERMOD tienen una gran dependencia del modelo de emisiones formulado durante la construcción del inventario de emisiones. Este depende en gran forma del criterio del modelador, de los factores de actividad de los procesos a evaluar y de los factores de emisión implementados durante la conceptualización del modelo de emisiones. Es difícil evaluar los dos primeros dada la naturaleza de estos. En la presente sección, se realizará la discusión sobre el aporte de incertidumbre de los factores de emisión utilizados en la elaboración de los inventarios de emisiones.

Es difícil cuantificar estadísticamente la incertidumbre de los factores de emisión provistos por el AP-42 de la US EPA, principalmente porque las ecuaciones o factores, aunque son estimados bajo un gran número de ensayos, en muchos casos no se generan un ajuste satisfactorio con respecto a las variables independientes asociadas. De esta manera siempre existirá un error implícito a la hora de escoger un factor de emisión debido a la naturaleza misma de las variables, que cambian según la zona, los procesos productivos y la variabilidad geográfica y climática.

Los factores de emisión de contaminantes atmosféricos compilados y desarrollados por la US EPA, son la referencia primaria en cuanto a factores de emisión en EE. UU. Sin embargo, dichos factores

tienen una incertidumbre intrínseca; cada factor de emisión de AP-42 es “calificado” en categorías de A a la E. Dicha calificación depende de la confiabilidad estimada, de los métodos utilizados para desarrollar el factor y en la cantidad y representatividad de los datos. La calificación o “Rating” del factor de emisión indica la fiabilidad o robustez de dicho factor. La calificación del factor de emisión es un indicador de la precisión y exactitud de este y se constituye como una medida de la rigurosidad de los autores y revisores del AP-42 con respecto a la confiabilidad de las estimaciones derivadas de estos factores. Para determinar la calificación de un factor, en primer lugar, se debe evaluar la calidad y confiabilidad de los datos de emisión básicos que se utilizan para el desarrollo del factor y en segundo lugar se debe evaluar la capacidad del factor para presentarse como un factor de emisión promedio anual nacional para determinada actividad. La Tabla 7-31 y la Tabla 7-32 presentan el sistema de clasificación de calidad formulado para los factores de emisión del AP 42 de la US EPA.

Tabla 7-31 Sistema de clasificación de calidad para factores de emisiones.

Clasificación	Descripción
A	Las pruebas son desarrolladas mediante una metodología sólida y sus resultados son reportados con suficiente detalle para una adecuada validación.
B	Las pruebas son desarrolladas mediante una metodología sólida; sin embargo, carecen de suficiente detalle para una adecuada validación.
C	Las pruebas son desarrolladas con metodologías nuevas o no corroboradas o carecen de suficientes antecedentes.
D	Las pruebas son basadas en un método generalmente inaceptable; sin embargo, el método puede proporcionar un valor de orden de magnitud para la fuente.

Fuente: (Radian corporation, 1996)/US EPA

Tabla 7-32 Sistema de clasificación de calidad para factores de Emisión AP 42

Clasificación	Calificación de calidad	Discusión
A	Excelente	El factor se ha desarrollado a partir de datos de prueba de fuente con clasificación A y B tomados de muchas instalaciones industriales elegidas al azar. La categoría de fuente es lo suficientemente específica para minimizar la variabilidad.
B	Sobre la media	El factor se desarrolla a partir de datos de prueba con calificación A o B de un "número razonable" de instalaciones. Aunque no hay un sesgo específico evidente, no está claro si las instalaciones evaluadas representan una muestra aleatoria de la industria. Al igual que con una calificación A, la categoría fuente es lo suficientemente específica para minimizar la variabilidad.
C	Media	El factor se desarrolla a partir de datos de prueba con calificación A, B y / o C de un número razonable de instalaciones. Aunque no hay un sesgo específico evidente, no está claro si las instalaciones evaluadas representan una muestra aleatoria de la industria. Al igual que con la calificación A, la categoría de fuente es lo suficientemente específica para minimizar la variabilidad.
D	Bajo la media	El factor se ha desarrollado a partir de datos de prueba con clasificación A, B y / o C de una pequeña cantidad de instalaciones, y puede haber motivos para sospechar que estas instalaciones no representan una muestra aleatoria de la industria. También puede haber evidencia de variabilidad dentro de la población de origen.
E	Malo	El factor se ha desarrollado a partir de datos de prueba con clasificación C y D, y puede haber motivos para sospechar que las instalaciones evaluadas no representan una muestra aleatoria de la industria. También puede haber evidencia de variabilidad dentro de la categoría de fuente de la población

Fuente: (Radian corporation, 1996)/US EPA

Los rangos de confiabilidad obtenidos a partir del análisis estadístico y la estimación de error cuantitativa y cualitativa reportada por US EPA en función del “Rating” se presentan en la Tabla 7-33.

Tabla 7-33 Rangos de Incertidumbre para Indicadores de calidad de información de factores de emisión

A	B	C	D	E
Incertidumbre (n=25)	Incertidumbre (n=10)	Incertidumbre (n=5)	Incertidumbre (n=3)	Incertidumbre (n=1)
25-62%	46-75%	60-82%	69-86%	82-92%

Fuente: (Radian corporation, 1996)/US EPA

El rating de los factores de emisión utilizados para la elaboración del inventario de emisiones de cada uno de los escenarios modelados y reportados en el presente informe.

7.8.17 Validación del modelo de AERMOD

AERMOD es un modelo de estado estacionario en el que se supone que las concentraciones a todas las distancias durante una hora modelada se rigen por la meteorología de la hora promediada temporalmente. El supuesto de estado estable produce resultados útiles, ya que las estadísticas de la distribución de la concentración son de interés principal en lugar de concentraciones específicas en momentos y lugares específicos. AERMOD ha sido diseñado para manejar el cálculo de los impactos de contaminantes en terrenos planos y complejos dentro del mismo marco de modelado. De hecho, con la estructura AERMOD, no es necesario especificar el tipo de terreno (plano, simple o complejo) en relación con la altura de la pila, ya que los receptores en todas las elevaciones se manejan con la misma metodología general (U.S. Environmental Protection Agency, September 2004).

Para definir la forma de las ecuaciones de concentración de AERMOD, es necesario discutir simultáneamente el manejo del terreno. En la capa límite estable (SBL), se supone que la distribución de la concentración es gaussiana tanto en la vertical como en la horizontal. En la capa límite convectiva (CBL), se supone que la distribución horizontal es gaussiana, pero la distribución vertical se describe con una función de densidad de probabilidad biGaussiana (pdf). Este comportamiento de las distribuciones de concentración en el CBL fue demostrado por Willis y Deardorff (1981) y Briggs (1993). Además, en el CBL, AERMOD trata el "lofting de la pluma", por lo que una parte de la masa del penacho, liberada de una fuente flotante, se eleva y permanece cerca de la parte superior de la capa límite antes de mezclarse verticalmente a lo largo del CBL. El modelo también rastrea cualquier masa de penacho que penetra en una capa estable elevada, y luego le permite reingresar a la capa límite cuando y si es apropiado (U.S. Environmental Protection Agency, September 2004).

En áreas urbanas, AERMOD explica la naturaleza dispersiva de la capa límite "convectiva" que se forma durante las condiciones nocturnas al aumentar la turbulencia sobre la que se espera en la capa límite adyacente y rural adyacente. La turbulencia mejorada es el resultado del flujo de calor urbano y la capa mixta asociada que se estiman a partir de la diferencia de temperatura urbano-rural como lo sugiere Oke (1978; 1982) (U.S. Environmental Protection Agency, September 2004).

En terrenos complejos, AERMOD incorpora el concepto de la línea divisoria de división (Snyder et al., 1985) para condiciones estratificadas establemente. Cuando sea apropiado, la pluma se modela como una combinación de dos casos limitantes: una pluma horizontal (impacto del terreno) y una pluma de seguimiento del terreno (respuesta del terreno). Es decir, AERMOD maneja el cálculo de los impactos de contaminantes en terrenos planos y complejos dentro del mismo marco de modelado. Generalmente, en flujos estables, se desarrolla una estructura de dos capas en la cual la capa inferior permanece horizontal mientras que la capa superior tiende a elevarse sobre el terreno.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL LÍNEA ELÉCTRICA DE CONEXIÓN PARQUES EÓLICOS BETA Y ALPHA A SUBESTACIÓN CUESTECITAS	
Versión 2	Noviembre 2024	

El concepto de un flujo de dos capas, distinguido en la altura de la línea de flujo (H_c), fue sugerido por primera vez por los argumentos teóricos de Sheppard (1956) y se demostró a través de experimentos de laboratorio, particularmente los de Snyder et al. (1985). En condiciones neutras e inestables $H_c=0$. (U.S. Environmental Protection Agency, September 2004).

Una pluma incrustada en el flujo debajo de H_c tiende a permanecer horizontal; Podría rodear la colina o impactar en ella. Un penacho por encima de H_c will sobre la colina. Asociado a esto hay una tendencia a que la pluma se deprima hacia la superficie del terreno, a que el flujo se acelere y a que aumenten las intensidades turbulentas verticales. Estos efectos en la estructura vertical del flujo se explican en modelos como el Modelo de dispersión de terreno complejo (CTDMPLUS) (Perry 1992). (U.S. Environmental Protection Agency, September 2004).

Sin embargo, debido a la complejidad del modelo, las demandas de datos de entrada para CTDMPLUS son considerables. La política de la EPA (Código de Regulaciones Federales de 1997) requiere la recopilación de datos de viento y turbulencia a la altura de la columna al aplicar CTDMPLUS en una aplicación regulatoria. Como se indicó anteriormente, los objetivos de desarrollo del modelo para AERMOD incluyen tener métodos que capturen la física esencial, proporcionen estimaciones de concentración plausibles y demanden aportes razonables del modelo mientras se mantengan lo más simples posible. Por lo tanto, AERMIC llegó a una formulación de terreno en AERMOD que considera los efectos de distorsión de flujo vertical en el penacho, al tiempo que evita gran parte de la complejidad del enfoque de modelado de CTDMPLUS. Los efectos de canalización del flujo lateral sobre la pluma no son considerados por AERMOD. (U.S. Environmental Protection Agency, September 2004).

AERMOD captura el efecto del flujo por encima y por debajo de la línea divisoria de división al ponderar la concentración de la pluma asociada con dos posibles estados extremos de la capa límite (la columna horizontal y el seguimiento del terreno). Como se explica a continuación, la ponderación relativa de los dos estados depende de: 1) el grado de estabilidad atmosférica; 2) la velocidad del viento; y 3) la altura del penacho en relación con el terreno. En condiciones estables, la pluma horizontal "domina" y se le otorga mayor peso, mientras que, en condiciones neutrales e inestables, la pluma que viaja sobre el terreno tiene una mayor ponderación. (U.S. Environmental Protection Agency, September 2004).

En síntesis, según La Oficina de Planeación de Calidad del Aire y estándares de la US EPA ***"US Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards"*** AERMOD está diseñado para manejar una variedad de tipos de fuentes de contaminantes, incluyendo la superficie y fuentes elevadas flotantes, en una amplia variedad de entornos, como rurales y urbanos, así como planos terreno complejo.

El desarrollo combinado y la evaluación de desempeño independiente de AERMOD reportados por La Oficina de Planeación de Calidad del Aire y Estándares de la US EPA ***"U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards"*** en 2002, involucran cuatro estudios de seguimiento a corto plazo y seis bases de datos de monitoreo de SO_2 a largo plazo convencionales en una variedad de configuraciones. El propósito de los estudios de evaluación era asegurarse de que AERMOD hubiera sido probado en una variedad de tipos de entornos para los cuales sería utilizado.

Comparado con muchos modelos aplicados ampliamente utilizados, AERMOD ha sido sometido a un alto grado de pruebas con estas bases de datos de evaluación.

La evaluación de AERMOD se realizó en dos fases. La primera fase, la "evaluación del desarrollo" se realizó simultáneamente con el desarrollo del modelo. Como se probó cada característica del modelo, se repitió una parte relevante de la evaluación del desarrollo con cinco bases de datos para identificar cualquier problema que pueda haber sido introducido con esa característica. Debido a

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL LÍNEA ELÉCTRICA DE CONEXIÓN PARQUES EÓLICOS BETA Y ALPHA A SUBESTACIÓN CUESTECITAS	
Versión 2	Noviembre 2024	

que el modelo podría haber estado sesgado inadvertidamente por características particulares de las bases de datos de desarrollo, una segunda fase, la "evaluación independiente", se llevó a cabo utilizando Cinco conjuntos de datos adicionales.

Como criterios estadísticos de evaluación, la US EPA utiliza las gráficas Q-Q plot (Gráficos Cuantil-cuantil) y el estadístico denominado "concentración más alta robusta", o RHC.

Según la US EPA, las gráficas Q-Q es un procedimiento más pragmático para demostrar el rendimiento del modelo. Son creados para clasificar por rango las concentraciones pronosticadas y observadas de un conjunto de predicciones inicialmente emparejadas en el tiempo y el espacio. La lista ordenada de concentraciones pronosticadas se traza por rango, contra las concentraciones observadas también ordenadas por rango. Estos pares de concentración ya no son emparejados en el tiempo o ubicación; sin embargo, la trama es útil para responder a la pregunta, "Durante un Período de tiempo y en una variedad de ubicaciones, la distribución de las predicciones del modelo: ¿Coinciden con la distribución de observaciones? Esta concepción es útil para eliminar la incertidumbre aportada por la dirección del viento. La gráfica Q-Q en lugar del diagrama de dispersión es un procedimiento más pragmático para demostrar el rendimiento del modelo.

Además, AERMOD fue evaluado con una estadística de prueba robusta (concentración más alta robusta, o RHC que representa una estimación suavizada de las concentraciones más altas, basada en un ajuste exponencial de la cola en el extremo superior de la distribución de concentración. Con este procedimiento, el efecto de los valores extremos en el modelo se reduce. El estadístico RHC está dada por:

$$RHC = \chi \{n\} + \left(\bar{\chi} - \chi \{n\} \right) \ln \left(\frac{3n - 1}{2} \right)$$

Donde n = Min (mo, m), mo es el número de valores utilizados para caracterizar el extremo superior de la distribución de la concentración, m es el número de valores que exceden un valor umbral especificado, $\bar{\chi}$ es el promedio de los valores más grandes de n - 1, y $\chi \{n\}$ es el n-ésimo el mayor valor.

Como resultados de la evaluación de desempeño, la "U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards" dio las siguientes conclusiones:

- Durante la evaluación de las 10 bases de datos que no son de lavado descendente (non - downwash). Los resultados de la evaluación indicaron que AERMOD muestra un rendimiento superior en relación con ISCST3 en comparación con todas las bases de datos probadas. Los resultados de la evaluación más reciente son muy similares a los resultados informados por Pain et al. Resultados más completos que incluyen gráficos Q-Q y algunos gráficos residuales para la evaluación previa está disponible y mostraría muy pocos cambios para la evaluación actualizada.
- La versión 022222 de AERMOD se ha vuelto a ejecutar para las 10 bases de datos de evaluación sin lavado descendente (non downwash), con diferencias menores en los resultados de los reportados previamente. La relación global a corto plazo de Las concentraciones de RHC pronosticadas / observadas de la versión 02222 de AERMOD son 1.03, promediadas sobre las bases de datos sin lavado descendente, con mejoras sobre los resultados de ISCST3, especialmente para terrenos complejos.
- Siete bases de datos de downwash, divididas en fases de evaluación de desarrollo e independientes, se utilizaron para la evaluación AERMOD. Las comparaciones con el rendimiento ISC-PRIME indican resultados similares para la mayoría de las bases de datos, con

mejoras notables ocasionales, como las de Alaska Base de datos de la vertiente norte. La relación general a corto plazo de AERMOD versión 02222 predijo que las concentraciones de RHC observadas son de 0,97 en promedio sobre las bases de datos de lavado descendente (downwash). Estos resultados fueron comparables en rendimiento a los de ISC-PRIME, como se esperaba.

Información detallada de las pruebas de desempeño a través de las cuales se puede establecer validación de modelo AERMOD en diversos escenarios se pueden consultar en el documento EPA-454/R-03-003 June 2003 “AERMOD: Latest Features and Evaluation Results” el cual se puede consultar en https://www3.epa.gov/ttn/scram/7thconf/aermod/aermod_mep.pdf.

Tabla 7-34 Resumen de resultados de evaluación del AERMOD para bases de datos non-downwash.

Data base	Ratio of Modeled/Observed Robust Highest Concentrations*	
Prairie Grass (SO ₂) Flat, grassy field (Nebraska, USA)	AERMOD: ISCST3:	0.89 (0.87) (1-hr avg) 1.50 (1-hr avg)
Kincaid (SF ₆) Flat, rural (Illinois, USA)	AERMOD: ISCST3:	0.77 (0.76) (1-hr avg) 0.68 (1-hr avg)
Kincaid: (SO ₂) Flat, rural (Illinois, USA)	AERMOD:	0.98 (1.01) (3-hr avg)
	ISCST3:	0.56 (3-hr avg)
	AERMOD:	0.94 (0.97) (24-hr avg)
	ISCST3:	0.45 (24-hr avg)
	AERMOD:	0.30 (0.30) (annual peak)
	ISCST3:	0.14 (annual peak)
Baldwin (SO ₂):	AERMOD:	1.24 (1.31) (3-hr avg)
	ISCST3:	1.43 (3-hr avg)
Flat, rural (Illinois, USA)	AERMOD:	0.97 (1.02) (24-hr avg)
	ISCST3:	1.14 (24-hr avg)
	AERMOD:	0.97 (0.97) (annual peak)
	ISCST3:	0.63 (annual peak)
Indianapolis (SF ₆)	AERMOD: ISCST3:	1.11 (1.20) (1-hr avg)
Flat, urban (Indiana, USA)		1.30 (1-hr avg)
Clifty Creek (SO ₂)	AERMOD: ISCST3:	1.05 (1.25) (3-hr avg)
Moderately hilly terrain, rural (Indiana, USA)		0.98 (3-hr avg)
	AERMOD: ISCST3:	0.67 (0.72) (24-hr avg)
	AERMOD: ISCST3:	0.67 (24-hr avg)
	AERMOD: ISCST3:	0.54 (0.54) (annual peak)
	AERMOD: ISCST3:	0.31 (annual peak)
Tracy (SF ₆):	AERMOD: ISCST3:	1.04 (1.07) (1-hr avg)
Hilly terrain, rural (Nevada, USA)	CTDMPLUS:	2.81 (1-hr avg)
	CTDMPLUS:	0.77 (1-hr avg)
Martins Creek (SO ₂): Hilly terrain, rural (Pennsylvania/New Jersey, USA)	AERMOD:	1.12 (1.06) (3-hr avg)
	CTDMPLUS:	4.80 (3-hr avg)
	ISCST3:	7.25 (3-hr avg)
	RTDM:	3.33 (3-hr avg)
	AERMOD:	1.78 (1.72) (24-hr avg)
	CTDMPLUS:	5.56 (24-hr avg)
	ISCST3:	8.88 (24-hr avg)
	RTDM:	3.56 (24-hr avg)
	AERMOD:	0.78 (0.74) (annual peak)

Data base	Ratio of Modeled/Observed Robust Highest Concentrations*	
	CTDMPLUS:	2.19 (annual peak)
	ISCST3:	3.37 (annual peak)
	RTDM:	1.32 (annual peak)
Lovett (SO ₂)	AERMOD: CTDMPLUS:	1.03 (1.00) (3-hr avg)
	ISCST3:	2.36 (3-hr avg)
		8.20 (3-hr avg)
	AERMOD: CTDMPLUS:	1.01 (1.00) (24-hr avg)
	ISCST3:	2.02 (24-hr avg)
		9.11 (24-hr avg)
Westvaco (SO ₂): Hilly terrain, rural (Maryland/Virginia, USA)	AERMOD: CTDMPLUS:	0.85 (0.78) (annual peak)
	ISCST3:	1.71 (annual peak)
		7.49 (annual peak)
	AERMOD: CTDMPLUS:	1.06 (1.08) (3-hr avg)
	ISCST3:	2.14 (3-hr avg)
		8.50 (3-hr avg, estimated*)
	AERMOD: CTDMPLUS:	1.07 (1.14) (24-hr avg)
		1.54 (24-hr avg)
	AERMOD: CTDMPLUS:	1.59 (1.64) (annual peak)
		0.93 (annual peak)

Fuente: EPA, Evaluación de resultados AERMOD, junio 2003, Tabla 2-Pag. 18

Tabla 7-35 Resumen de resultados de evaluación del AERMOD para bases de datos downwash.

Database	Ratio of Modeled/Observed Robust Highest Concentrations*	
Bowline Point (buoyant, SO ₂) Hudson River Valley, New York	AERMOD:	1.14 (3-hr avg)
	ISC-PRIME:	1.23 (3-hr avg)
	AERMOD:	1.43 (24-hr avg)
	ISC-PRIME:	1.42 (24-hr avg)
	AERMOD:	1.50 (annual avg)
	ISC-PRIME:	1.35 (annual avg)
Alaska North Slope (buoyant, SF ₆)	AERMOD: ISC-PRIME:	1.06 (1-hr avg)
		1.49 (1-hr avg)
Duane Arnold Energy Center (nonbuoyant, SF ₆) (Iowa)	AERMOD:	0.69 (1-hr avg; 46-m release)
	ISC-PRIME:	0.76 (1-hr avg; 46-m release)
	AERMOD:	0.25 (1-hr avg; 24-m release)
	ISC-PRIME:	0.29 (1-hr avg; 24-m release)

Database	Ratio of Modeled/Observed Robust Highest Concentrations*	
	AERMOD:	0.51 (1-hr avg; 1-m release)
	ISC-PRIME:	0.38 (1-hr avg; 1-m release)
Millstone Nuclear Power Plant (nonbuoyant, SF ₆) (Connecticut)	AERMOD:	0.44 (1-hr avg; 46-m release)
	ISC-PRIME:	0.41 (1-hr avg; 46-m release)
	AERMOD:	1.32 (1-hr avg; 29-m release)
	ISC-PRIME:	1.42 (1-hr avg; 29-m release)
American Gas Association (buoyant, SF ₆) Texas and Kansas)	AERMOD: ISC-PRIME:	
	0.92 (1-hr avg) 0.76 (1-hr avg)	
Experimental Organic Cooling Reactor (nonbuoyant, SF ₆) (Idaho)	AERMOD: ISC-PRIME:	
	1.72 (1-hr avg) 1.69 (1-hr avg)	
Lee Power Plant (buoyant, wind tunnel)	AERMOD:	0.51 (1-hr avg; neutral cases; rural)
	ISC-PRIME:	0.49 (1-hr avg; neutral cases; rural)
	AERMOD:	2.50 (1-hr avg; stable cases; rural)
	ISC-PRIME:	2.11 (1-hr avg; stable cases; rural)

Fuente: EPA, Evaluación de resultados AERMOD, Junio 2003, Tabla 3–Pag. 28

7.8.18 Conclusiones

En general, se encontró que las emisiones por fuentes fijas de las operaciones de construcción (fase de operación) del proyecto *Línea eléctrica de conexión parques eólicos Beta y Alpha a subestación Cuestecitas* no representarán un impacto sobre el medio ambiente o sobre la salud de las personas en términos de los efectos sobre la calidad del aire; lo anterior, debido a que las concentraciones medias determinadas mediante el estadístico percentil 50, de material particulado (PM₁₀ o PM_{2.5}), dióxido de azufre SO₂, óxidos de nitrógeno NO₂ y monóxido de carbono CO son muy inferiores a los límites máximos de concentración de contaminantes establecidos por la Resolución 2254 de 2017 del MADS.

No obstante, a partir del análisis de datos realizado sobre los percentiles reportados por el AERMOD, se identificó que por el proyecto se pueden generar algunos valores de concentraciones de PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂ y NO_x por encima de la norma en las cercanías de las zonas de construcción, lo cual se puede observar en las métricas máximas a corto plazo reportadas y que son considerados atípicas o poco probables y no representan la calidad del aire del proyecto *Línea eléctrica de conexión parques eólicos Beta y Alpha a subestación Cuestecitas*, según lo observado en los diagramas de cajas y las métricas de percentil 50.

La operación del helicóptero Bell 212 para el transporte de materiales y personal durante la fase constructiva del proyecto no representa un impacto significativo a la calidad del aire de la zona de estudio, lo anterior se concluye con base en las modelaciones realizadas en el software AEDT3f y su integración a las salidas gráficas del modelo de Aermod View.

	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL LÍNEA ELÉCTRICA DE CONEXIÓN PARQUES EÓLICOS BETA Y ALPHA A SUBESTACIÓN CUESTECITAS	
Versión 2	Noviembre 2024	

Se estimó el inventario de emisiones obteniéndose los resultados presentados en la sección “Resultados Inventario de Emisiones”, de ellos se evidencia que los contaminantes que presentan una mayor carga de contaminantes, son PM10, P2.5 NOx y CO, esta distribución se debe principalmente a la predominancia de las fuentes de área y lineales contempladas en el modelo; sin embargo, dicho aporte no implica impactos fuertes ni permanentes sobre la calidad del aire de las comunidades adyacentes, tal y como se mencionó anteriormente. Dicha afirmación se hace tomado como referencia la norma Nacional de calidad del aire (Resolución 2154 de 2017 del MADS). Así mismo, se evidencia que los aportes asociados a la operación del helicóptero Bell 212 son mínimos en comparación a los demás aportes contemplados (obras civiles, voladuras y tráfico vehicular)

Los impactos sobre la calidad del aire se harán más probables durante la ejecución de actividades de obra civil y los controles de emisión sugeridos bajan la magnitud de los fenómenos a corto plazo que se pueden presentar en la calidad del aire.