

**ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA INTERVENCIÓN DEL
PROYECTO RUTA DEL SOL, SECTOR III, TRAMO 8 BOSCONIA-VALLEDUPAR,
DEPARTAMENTO DEL CESAR**

AUTORES:

**JUAN CARLOS GOMEZ CONTRERAS
GERSON CAMILO LLANOS GALARCIO**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR – CESAR**

2022

**ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA INTERVENCIÓN DEL
PROYECTO RUTA DEL SOL, SECTOR III, TRAMO 8 BOSCONIA-VALLEDUPAR,
DEPARTAMENTO DEL CESAR**

AUTORES:

**JUAN CARLOS GOMEZ CONTRERAS
GERSON CAMILO LLANOS GALARCIO**

DIRECTOR:

ING: FERNANDO ANAYA

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR – CESAR**

2022

Tabla de contenido

	Pág.
Introducción	10
1. Título del Proyecto o Investigación	11
2. Planteamiento y Formulación del problema	12
2.1 Descripción del Problema	12
2.2 Formulación del Problema	14
3. Justificación del Proyecto o Investigación	15
4. Objetivos	16
4.1 Objetivo general	16
4.2 Objetivos específicos	16
5. Marco Referencial	17
5.1 Antecedentes de la Investigación	17
5.2 Marco Teórico	21
5.2.1 Índice de Calidad del Aire - ICA	23
5.2.2 Material particulado	26
5.2.3 Clasificación del Material Particulado	26
5.2.4 Calidad del aire	27
5.2.5 Contaminantes atmosféricos	28
5.2.6 Medidas de Manejo Ambiental	28
5.2.7 Dióxido de azufre (SO ₂)	30
5.2.8 Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	31
5.2.9 Dispersión de los contaminantes en la atmósfera	32
5.2.10 Fuentes de emisiones de contaminantes	32

5.2.11 Fuentes de emisiones por Intervención de proyectos viales	33
5.2.12 Rosa de vientos	33
5.3 Marco Conceptual	34
5.4 Marco Contextual	38
5.4.1 Geografía	39
5.5 Marco Legal	39
6. Marco Metodológico	41
6.1 Línea de Investigación	41
6.2 Tipo de Investigación	41
6.3 Nivel de investigación	41
6.4 Población de Estudio	41
6.5 Muestra poblacional	41
6.6 Diseño de la investigación	42
6.7 Desarrollo Metodológico	42
6.7.1 Etapa 1. Valoración de la concentración de los contaminantes Pm ₁₀ , PST, CO, SO ₂ , NO ₂	42
6.7.2 Etapa 2. Analizar los resultados obtenidos de las mediciones y comparar con la resolución 2254 de 2017.	47
6.7.3 Etapa 3. Índice de la calidad del aire ICA	48
6.7.4 Etapa 4. Establecer alternativas de solución a partir del análisis de los resultados.	49
6.8 Resultados Esperados	49
6.8.1 Actividades correspondientes al desarrollo metodológico.	49

6.8.2	Indicador	49
6.8.3	Meta 49	
6.8.4	Producto	49
6.8.5	Resultado	49
	7. Resultados y discusiones	50
	7.1 Determinar las concentraciones de los contaminantes PM10, PST, SO2, NO2 y CO en el aire del tramo vial Bosconia- Valledupar.	50
	7.2 Comparar las concentraciones de los contaminantes obtenidos con los límites permisibles para calidad del aire bajo la Resolución 2254 de 2017 y determinar el nivel de cumplimiento actual.	77
	7.3 Determinar los índices de calidad del aire ICA e interpretar sus valores en términos del riesgo para la salud de posibles receptores.	81
	7.4 Establecer medidas de manejo ambiental a partir del análisis de los resultados para los parámetros que excedan los valores máximos permisibles, bajo la resolución 2254 de 2017.	85
	8. Conclusiones y Recomendaciones	88
	8.1 Conclusiones	88
	8.2 Recomendaciones	89
	9. Referencias	90

Lista de tablas

	pág.
Tabla 1.	22
Tabla 2.	23
Tabla 3.	24
Tabla 4.	25
Tabla 5.	29
Tabla 6.	34
Tabla 7.	39
Tabla 8.	48
Tabla 9.	50
Tabla 10.	51
Tabla 11.	54
Tabla 12.	56
Tabla 13.	59
Tabla 14.	62
Tabla 15.	64
Tabla 16.	67
Tabla 17.	68
Tabla 18.	70
Tabla 19.	71
Tabla 20.	72
Tabla 21.	74

Tabla 22.	82
Tabla 23.	83
Tabla 24.	83
Tabla 25.	84
Tabla 26.	84
Tabla 27.	85
Tabla 28.	88

Lista de Graficas

	pág
Gráfica 1.	54
Gráfica 2.	56
Gráfica 3.	59
Gráfica 4.	61
Gráfica 5.	64
Gráfica 6.	68
Gráfica 7.	69
Gráfica 8.	71
Gráfica 9.	72
Gráfica 10.	73
Gráfica 11.	78
Gráfica 12.	78
Gráfica 13.	79
Gráfica 14.	79
Gráfica 15.	80
Gráfica 16.	80

Lista de figuras

	pág.
Figura 1.	38
Figura 2.	52
Figura 3.	75
Figura 4.	75
Figura 5.	76
Figura 6.	76
Figura 7.	77

Introducción

Para el autor SILVA, (2010): “El aire es un recurso natural que recibe el embate de la contaminación generada por el hombre y el aporte de la naturaleza por su dinámica. Quiere decir que además de las acciones antropicas, también la naturaleza contribuye a que se tenga un aire con cierto nivel de contaminantes. El aire en la atmósfera está compuesto naturalmente por diversos gases entre los cuales encontramos el nitrógeno (78%) es el predominante, siguiéndole el oxígeno (21%) y completándose con cantidades sumamente reducidas de otros gases tales como argón (0.9%), dióxido de carbono (0.03%) y otros. Además de estos gases, de manera natural, el aire también contiene diversas partículas características propias del sitio en que se encuentre un ambiente determinado y de la época anual”.

Los impactos generados a la calidad del aire por la actividad constructiva de infraestructura vial, se vuelven de gran importancia debido a la alta demanda de materiales como lo son el Terraplen, Corona, Base, Sub-base, asfalto entre otros, que conllevan a los incrementos de los contaminantes de PM₁₀, PST, SO₂, NO₂ y CO, originando polución y problemas al entorno, como asu vez a la salud humana o de la comunidades aledañas al proyecto. Tambien se puede apreciar que la alta demanda de materiales de triturados la utilización de equipos y maquinaria, volquetas, que al no tener un control riguroso de emisiones y gases pueden coadyuvar a la alteracion de la calidad del área de la zona.

Nuestro presente estudio de investigación tiene como área de influencia el tramo vial entre el Municipio de Bosconia y el Municipio de Valledupar, más conocido como el Tramo 8, el cual tiene una longitud de 110 Kilomentros entre los dos municipios. Para el analisis de la calidad del aire en la zona, se empleo el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire adoptados por la Resolución 650 de 2010 y modificado por la Resolución 2154 de 2010 emitido por el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS.

La determinación de las cocnentraciones de los contaminates de material particulado PM₁₀, PST, SO₂, NO₂ y CO, permitio conocer el comportamiento de los parámetros en tiempo real, en un un periodo de cuatro meses. Basado en los resultados anteriores, se contrasto con los valores maximos permisibles para los contaminates reglamentados en la Resolución 2254 de 2017, Posterior a ello, los contaminates por encima de la norma, se les plantearon recomendaciones y acciones que son encaminadas al control y mitigación de suscesos defavorables en la calidad del aire de la zona de estudio, del tramo vial y su incidencia en las comunidades.

1. Título del Proyecto o Investigación

Análisis de la calidad del aire en la intervención del proyecto ruta del sol, sector III, tramo 8 Bosconia-Valledupar, departamento del Cesar.

2. Planteamiento y Formulación del problema

2.1 Descripción del Problema

Las evidencias de numerosos estudios en diferentes partes del mundo relacionan las altas concentraciones de contaminantes del aire con efectos agudos y crónicos en la salud. El exceso de mortalidad por causas cardiovasculares, respiratorias, cáncer de pulmón e infecciones respiratorias agudas en los niños ha sido asociado con la presencia de niveles de contaminantes que exceden las normas de calidad del aire exterior (POPELL & DOCKEY, 1995).

Los proyectos de infraestructura vial emplean materiales pétreos para la construcción de superficies de rodamiento, esta empleabilidad origina un riesgo a la salud al no ser controlados por sus características tóxicas, únicamente una acumulación de partículas en los pulmones puede causar alguna enfermedad.

Las obras construidas en el último siglo, tal vez a las que más se responsabiliza de haber contribuido grandemente al deterioro ambiental del país fue a la construcción de la red de carreteras que hoy comunican parte del territorio. Por lo cual, puede decirse que lo que en muchos casos falló no fue el trazado y construcción de las carreteras sino la capacidad de ordenar y controlar racionalmente el uso del territorio y de proteger numerosas zonas, cuya vocación y uso estratégico era la conservación de su estado natural (Mariño, 2007).

Para el autor (Perdomo, 2014) “La construcción de obras de infraestructura vial, supone en este nuevo concepto, un sector básico de inaplazable necesidad concibiendo grandes impactos y presión sobre los recursos, emisión de toneladas de gases, que han venido cambiando las necesidades sociales y modificando el desarrollo económico del entorno”.

El sector de la construcción ha producido un gran impacto ambiental debido al cambio avanzado en la tecnología y la maquinaria empleada para la ejecución de cualquier obra de ingeniería, por ello el sector de la construcción deben afrontar una deuda aún pendiente relacionada con las formas de extraer, transportar y manipular materiales propios del sector debido a que al realizar estas prácticas se alteran las condiciones normales de la biosfera.

De acuerdo con (Metropol, 2009) “Las construcciones tienen un alto impacto sobre el ambiente: utilizan recursos naturales renovables y no renovables en grandes cantidades; generan altos consumos energéticos antes, durante y después de construidas; propician emisiones de CO₂, y, causando un deterioro en la calidad del aire”.

La construcción del proyecto vial ruta del sol-sector 3, tramo 8 entre Bosconia - Valledupar, epicentro de este proyecto de investigación, se presentan diversas problemáticas que afectan de manera directa la calidad del aire, entre ellas encontramos el aumento del tráfico vehicular debido a la incidencia de vehículos de carga que son requeridos para el transporte del material pétreo, el mismo material pétreo debido a su forma aerodinámica genera contaminación, a su vez el traslado de maquinaria en Camabaja emitiendo por la combustión de los vehículos gases tóxicos al medio, otra actividad que genera contaminación al aire de la ejecución del proyecto vial es el movimiento de suelo genera aumento de materia particulada al entorno, teniendo como base que nuestra zona de estudio sufre de escasas lluvias y largos veranos los cuales empeoran las condiciones del entorno. Todas esas actividades mencionadas anteriormente han originado que la calidad del aire y por ende la calidad de vida de los habitantes al proyecto se vea afectada, causando problemas a la salud de las personas más sensibles como los niños, ancianos, mujeres embarazadas y pacientes con problemas respiratorios y cardiovasculares existentes.

2.2 Formulación del Problema

¿Están las comunidades aledañas al proyecto vial ruta del sol, sector III, tramo 8 Bosconia-Valledupar expuestas a las altas concentraciones de PM₁₀, PST, SO₂, NO₂ y CO en la intervención en el mejoramiento, rehabilitación y construcción del corredor vial?

3. Justificación del Proyecto o Investigación

La presente investigación que se realizó en el proyecto vial ruta del sol, sector III, tramo 8 Bosconia- Valledupar, conlleva a brindarle una propuesta de solución a la problemática ambiental que se origina entorno a la calidad del recurso aire. Con la ejecución de esta investigación se buscó generar beneficios al mejoramiento de las condiciones naturales de las comunidades aledañas al proyecto, como al mismo ambiente en general expuesta y que son sensible a los contaminantes como PM₁₀, PST, SO₂, NO₂ y CO.

En esta investigación se realizó la comparación de las concentraciones de los contaminantes PM₁₀, PST, SO₂, NO₂ y CO y los valores máximos permisibles reglamentados en la resolución 2254 de 2017, esto buscando el cumplimiento normativo, y una hoja de ruta en la toma de decisiones enmarcadas en la propuesta de acciones, estrategias, y medidas de control y prevención ambiental en el mejoramiento de la calidad del aire la zona de intervención como lo es el tramo 8 Bosconia- Valledupar derivado de la afectación por el proyecto vial. Es de destacar que la ejecución de un monitoreo de calidad de aire su principal beneficiado serán las comunidades aledañas a la intervención.

Dentro los beneficios se espera que las medidas vayan encaminadas en el manejo ambiental en la regulación en la emisión de gases por vehículos de carga que son utilizados para el transporte de materiales pétreos (Terraplén, Base, Sub-base, Corona entre otros), como a su vez en el extendido de los materiales, la regulación y control de las Volquetas, medidas de mitigación por material particulado por la acción del viento, el mantenimiento preventivo y correctivo de la maquinaria amarilla, como los vehículos livianos utilizados en la ejecución del proyecto vial ruta del sol, sector III, tramo 8 Bosconia – Valledupar.

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

Realizar el análisis de la calidad del aire en la intervención del proyecto ruta del sol, sector III, tramo 8 Bosconia-Valledupar, departamento del Cesar.

4.2 Objetivos específicos

- Valoración de las concentraciones de los contaminantes PM₁₀, PST, SO₂, NO₂ y CO en el aire del tramo 8 Bosconia- Valledupar.
- Determinar los índices de calidad del aire ICA e interpretar sus valores en términos del riesgo para la salud de posibles receptores.
- Establecer medidas de manejo ambiental a partir del análisis de los resultados para los parámetros que excedan los valores máximos permisibles, bajo la resolución 2254 de 2017.

5. Marco Referencial

5.1 Antecedentes de la Investigación

Chaparro, P. (2019). Desarrollo el estudio titulado “Riesgo en salud por las concentraciones de plomo y cromo contenidas en el material particulado generado por fuentes móviles en la carrera 13, entre calles 51 y 52, de Bogotá” Las fuentes móviles son uno de los emisores más importantes de material particulado menor de 10 micras (PM_{10}) en Bogotá. Los peatones que transitan anexo a estas vías se exponen aguda y crónicamente a concentraciones de contaminantes del aire que pueden generar enfermedades cardiorrespiratorias, neurológicas o cáncer. Las investigaciones relacionadas con el contacto con contaminantes atmosféricos en corredores viales en Bogotá son limitadas, razón por la cual el presente estudio busca evaluar el riesgo en salud por las concentraciones de plomo y cromo presentes en el material particulado en un corredor vial en la localidad de Chapinero, escenario donde confluyen un gran número de personas que trabajan, estudian y se desplazan por la cicloruta anexa. La información encontrada soportará las acciones de gestión y toma de decisiones en medio ambiente y salud pública en la ciudad de Bogotá. El aporte a nuestra investigación se dirigirá al análisis del material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$.

Geocol. (2017). Desarrollaron el estudio titulado “Estudio de impacto ambiental para el proyecto vial doble calzada Rumichaca – Pasto, tramo San Juan – Pedregal” El programa de monitoreo se efectuó entre los días 19 de febrero y 13 de marzo de 2017 en 6 puntos representativos del área de influencia donde se tomaron muestras de partículas suspendidas totales (TSP), material particulado igual o menor a 10 micras (PM_{10}), material particulado igual o menor a 2.5 micras ($PM_{2.5}$), dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2), con muestreos diarios de 24 horas, y se hicieron mediciones directas de monóxido de carbono (CO) en muestreo continuo y de

hidrocarburos totales (HCT) 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). El aporte a nuestra investigación va dirigido a los parámetros de los contaminantes atmosféricos.

Consultoria Colombian SAS. (2017). Desarrollaron el proyecto “Estudio de impacto ambiental para la construcción de la segunda calzada san jerónimo – santa fe uf 2.1 proyecto autopista al mar 1”. La evaluación ambiental se desarrolló de acuerdo a lo establecido en los Términos de Referencia para la elaboración de estudios de impacto ambiental para la construcción de carreteras y/o túneles con sus accesos (M-M-INA) adoptado del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible mediante la Resolución 0751 del 26 de marzo de 2015. La calidad atmosférica puede verse afectada por la presencia en el aire de materias, sustancias o formas de energía que impliquen molestia grave, riesgo o daño para la seguridad y la salud de las personas, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza. La alteración de la calidad del aire hace referencia a las condiciones normales del aire en un espacio determinado, bajo ciertas condiciones en las que la concentración de agentes contaminantes es nula o presenta unos niveles base de acuerdo a las fuentes de emisión naturales que se puedan presentar en una zona, como actividad volcánica, suelos erodados con susceptibilidad a resuspensión, condiciones climáticas, esta variación puede verse asociada a fuentes móviles, fijas y de área. El aporte a nuestra investigación se dirigirá al análisis del material particulado PM₁₀ y PM_{2.5}.

Jimenez, G. Amezquita, L. y castillo, E. (2014). Plan de proyecto rehabilitación, mejoramiento, pavimentación y construcción de la vía el pajuil – la unión peneya (Caquetá). El

presente documento nace como prioridad en darle solución a la problemática que aqueja la población del municipio de El Paujil y La Montañita, Departamento del Caquetá, quienes debido al deterioro de un tramo de la vía que los comunica, se han visto afectados en su calidad de vida y en sus ingresos económicos, ya que esta región del país tiene sustento en el renglón agropecuario y por el mal estado de la vía se ha vuelto bastante complicado poder transportar y por ende comercializar los productos agrícolas que de esta zona se derivan. Al tener unas vías en óptimas condiciones se mejorarán muchos problemas que se presentan como producto del mal estado de la vía, así como la mejoría en la malla vial del departamento, por lo tanto, se hace necesario intervenirla y adecuarla para uso seguro y eficaz. El aporte a nuestra investigación se basó en la contextualización de la construcción vial y sus efectos al entorno.

Rojano et al., (2013). En la Ciudad de Riohacha (Colombia), se determinaron las concentraciones de partículas suspendidas totales y partículas menores de 10 y 2,5 μm en la zona urbana del municipio. Para realizar el muestreo, se tuvo en cuenta un Partisol, para las concentraciones de $\text{PM}_{2,5}$ y un muestreador de alto volumen para Partículas Suspendidas Totales (PST) y PM_{10} . Los resultados mostraron que el promedio de la concentración de PM_{10} varió desde 43,69 a 19,47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, las PST de 86,02 a 27,38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y las $\text{PM}_{2,5}$ mostraron un promedio de 14,57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, encontrándose entre lo establecido por la normativa. Las PST pueden implicar presencia de partículas PM_{10} en el área urbana esta ciudad, pero las concentraciones de PM_{10} no necesariamente indican presencia de partículas $\text{PM}_{2,5}$ ($R= 0,035$). Los resultados de correlación de $\text{PM}_{10}/\text{PST}$ son similares a estudios realizados en otras zonas urbanas de Colombia y de otros países. El aporte a nuestra investigación se dirigirá al análisis del material particulado PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$.

Cortez, (2013) Desarrollo la investigación titulada “Evaluación de la contaminación atmosférica en el aire ambiente de Manizales por COPS y PM_{10} ”. Presenta un estudio de la calidad del aire realizado en cuatro puntos de la ciudad de Manizales, en el cual se analizó la dinámica de dispersión de las dioxinas (PCDD), furanos (PCDFs), dioxin-like PCBs (dl-PCBs) y el Material Particulado inferior a 10 micrómetros de diámetro (PM_{10}) en el aire ambiente de la ciudad; encontró que el monitoreo activo, es decir, fase particulada en la ciudad, se encuentra fuertemente influenciado por las emisiones vehiculares. Las concentraciones obtenidas (PCDD/Fs + dl-PCBs), en función del aporte tóxico, oscilan entre 8 y 46 fg WHO-TEQ2005/m³ y las concentraciones de PM_{10} , oscilan entre 27 y 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Esta investigación nos da indicios de uno de los contaminantes criterios que se vigilará, considerando que Valencia de Jesús es atravesada por la carretera 80 y el tipo de vehículo que transita por dicha carretera generando levantamiento de polvo y emisiones de gases. El aporte a nuestra investigación será en las concentraciones de PM_{10} y COPS.

Charres & Gonzalez. (2008). Desarrollo la investigación titulada “evaluación de la calidad del aire en el municipio de Suesca (Cundinamarca)”. La presente investigación busco determinar el estado de la calidad del aire del municipio de Suesca, Cundinamarca utilizando como indicador la concentración de material particulado (PM_{10}), para establecer si existe o no un grado de afectación en la salud de la población asociado a dicho contaminante. Para ello, se identificaron las fuentes de emisión y se estimó la tasa de emisión por cada actividad; se realizó una campaña de medición de material particulado (PM_{10}) a través de dos puntos de muestreo durante los meses de junio y julio de 2015; se ejecutó AERMOD para evaluar la dispersión del contaminante; y junto con las respuestas a un cuestionario epidemiológico se evaluaron los impactos de la contaminación en la salud de las personas. El aporte a nuestra investigación será en la medición del material particulado PM_{10} .

5.2 Marco Teórico

La contaminación atmosférica es la presencia que existe en el aire de pequeñas partículas o productos secundarios gaseosos que pueden implicar riesgo, daño o molestia para las personas, plantas y animales que se encuentran expuestas a dicho ambiente en donde los principales medios por los cuales se produce contaminación atmosférica se concentran en los procesos industriales en donde se realiza combustión, así como por fuentes móviles tales como los automóviles (IDEAM, 2021).

En Colombia, el monitoreo y control de la contaminación atmosférica ha tomado día a día mayor relevancia, debido a que, según cifras de la Organización Mundial de la Salud, una de cada ocho muertes ocurridas a nivel mundial, es ocasionada por la contaminación del aire. A nivel nacional, el Departamento Nacional de Planeación estimó que, durante el año 2015, los efectos de este fenómeno estuvieron asociados a 10.527 muertes y 67,8 millones de síntomas y enfermedades. Adicionalmente, los costos ambientales asociados a la contaminación atmosférica en Colombia, durante los últimos años se incrementaron pasando de 1,1% del PIB de 2009 (\$5,7 billones de pesos) a 1,59% del PIB de 2014 (\$12 billones de pesos) y del 1,93% del PIB en 2015 (\$15.4 billones de pesos), lo cual pone en evidencia la necesidad de seguir implementando estrategias para controlar, evaluar y monitorear estas sustancias (IDEAM, 2021).

Según los últimos informes del estado de la calidad del aire, elaborados por el Instituto, el contaminante con mayor potencial de afectación en el territorio nacional es el Material Particulado Menor a 2,5 micras ($PM_{2.5}$), el cual está constituido ¿por partículas muy pequeñas, producidas principalmente por los vehículos pesados que utilizan diésel como combustible, y que pueden transportar material muy peligroso para el cuerpo como metales pesados, compuestos orgánicos y virus, afectando de este modo las vías respiratorias, (IDEAM,2021). Dado esto, el estado

colombiano ha estado adoptando y modificando su legislación de manera que rijan y controle las emisiones de los contaminantes que se generan con el desarrollo económico y que afectan a la salud de las personas, por lo que estableció a través de la resolución 2254 del 2017 los niveles máximos permisibles de contaminantes, los niveles de prevención, alerta o emergencia y el índice de calidad del aire.

Tabla 1.

Niveles máximos permisibles de contaminantes criterios en el aire

Contaminante	Nivel máximo Permissible ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tiempo de Exposición
PM ₁₀	50	Anual
	100	24 horas
PM _{2.5}	25	Anual
	50	24 horas
SO ₂	50	24 horas
	100	1 hora
NO ₂	60	Anual
	200	1 hora
O ₃	100	8 horas
CO	5.000	8 horas
	35.000	1 hora

Fuente: Resolución 2254 del 2017

Las declaraciones de los niveles, deberá tener en cuenta los datos del estado de la calidad del aire y meteorológicos más actualizados que estén disponibles. Esta decisión deberá estar acompañada de un informe técnico de soporte, (Resolución 2254/2017).

Los rangos de concentración y el tiempo de exposición bajo la cuales se deben declarar por parte de las autoridades ambientales competentes los niveles de prevención, alerta o emergencia, se establecen en la Tabla No.2, (Resolución 2254/2017).

Tabla 2.

Concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para los niveles de prevención, alerta o emergencia.

Contaminante	Tiempo de exposición	Prevención	Alerta	Emergencia*
PM ₁₀	24 horas	155 - 254	255 - 354	≥355
PM _{2.5} **	24 horas	38 - 55	56 - 150	≥151
O ₃	8 horas	139 - 167	168 - 207	≥208
SO ₂	1 hora	198 - 486	487 - 797	≥798
NO ₂	1 hora	190 - 677	678 - 1221	≥1222
CO	8 horas	10820 - 14254	14255 - 17688	≥17689

Fuente: Resolución 2254 del 2017

5.2.1 Índice de Calidad del Aire - ICA

El ICA es un valor adimensional para reportar el estado de la calidad del aire en función de un código de colores al que están asociadas unos efectos generales que deben ser tenidos en cuenta para reducir la exposición a altas concentraciones por parte de la población. Este índice también será utilizado en el pronóstico de la calidad del aire. La descripción general del índice de calidad del aire se establece en la siguiente tabla, (Resolución 2254/2017).

Tabla 3.

Descripción del ICA

Rango	Color	Estado de la calidad del aire	Efectos
0 - 50	Verde	Buena	La contaminación atmosférica supone un riesgo bajo para la salud.
51 - 100	Amarillo	Aceptable	Posibles síntomas respiratorios en grupos poblacionales sensibles. Los grupos poblacionales sensibles pueden presentar efectos sobre la salud.
101 - 150	Naranja	Dañina a la salud de grupos sensibles	1) Ozono Troposférico: Las personas con enfermedades pulmonares, niños, adultos mayores y las que constantemente realizan actividad física al aire libre, deben reducir su exposición a los contaminantes del aire. 2) Material Particulado: Las personas con enfermedad cardiaca o pulmonar, los adultos mayores y los niños se consideran sensibles por lo tanto en mayor riesgo. Todos los individuos pueden comenzar a experimentar efectos sobre la salud. Los grupos sensibles pueden experimentar efectos más graves para la salud.
151 - 200	Rojo	Dañina para la salud	

Fuente: Resolución 2254 del 2017

En la Tabla No.4 se presentan los puntos de corte del índice de calidad del aire respecto a los contaminantes criterios.

Tabla 4.

Puntos de corte del ICA

Índice de Calidad del Aire			Puntos de corte del ICA						
ICA	Color	Categoría	ug/m ³ 24 horas	ug/m ³ 24 horas	ug/m ³ 8 horas	ug/m ³ 1 hora	pg/m ³ 1 hora	ug/m ³ 8 horas	ug/m ³ 1 hora (1)
0-50	Verde	Buena	0 — 54	0-12	0 - 5094	0-93	0- 100	0-106	
51-100	Amarillo	Aceptable	55-154	13 - 37	5095- 10819	94 -197	101-189	107 -138	
101 - 150	Naranja	Dañina a la salud de Grupos Sensibles	155-254	38 — 55	10820-14254	198-486	190- 677	139- 167	245 -323
151 -200	Rojo	Dañina a la salud	255 - 354	56 - 150	14255 — 17688	487-797	678 -1221	168 - 207	324- 401
201 • 300	Púrpura	Muy dañina a la salud	355 -424	151 - 250	1768934862	798-1583	1222- 2349	208 - 393	402- 794
301 - 500	Marrón	Peligrosa	425 - 604	251 - 500	34863 57703	1584-2629	2350- 3853	394(2)	795-1185

Fuente: Resolución 2254 del 2017

El ICA será calculado a partir de la siguiente ecuación

$$ICA_p = \frac{I_{Alto} - I_{bajo}}{PC_{Alto} - PC_{bajo}} \times (C_p - PC_{bajo}) + I_{bajo}$$

En donde:

ICA p = Índice de Calidad del Aire para el contaminante p.

C p = Concentración medida para el contaminante p.

PC Punto de corte mayor o igual a c p

PC bajo = Punto de corte menor o igual a C p

I alto = Valor del ICA correspondiente al PC

I bajo = Valor del ICA correspondiente al PC bajo

I Estaciones ubicadas en zonas de alto tráfico vehicular en éocas de intensa radiación solar.

5.2.2 Material particulado

El material particulado (MP) es el término generalmente usado para describir las partículas sólidas y/o líquidas que se encuentran en una masa de aire (Fang et al., 2006; Finlayson-Pitts y James N. Pitts, 2000; Malm, 2000). Específicamente el material particulado (MP) se define como cualquier sustancia a excepción del agua pura, presente en la atmósfera en estado sólido o líquido bajo condiciones normales y cuyo tamaño se considera está comprendido entre los 0,002-100 μm de diámetro (Meszaros, 1999). Según es citado por Lippmann (2008), al MP se le dio el nombre genérico de "aerosoles" en analogía al término hidrosoles usados para describir sistemas dispersos en agua. La composición y el tamaño de estas partículas varían. Algunas partículas son lo suficientemente grandes como para verse a simple vista como el polvo o la suciedad, mientras que otras son tan pequeñas que sólo se pueden ver con un microscopio de gran alcance.

5.2.3 Clasificación del Material Particulado

Históricamente el MP se ha clasificado según sus dimensiones lineales, según su proceso de formación y según su origen.

Según sus dimensiones lineales, el MP se clasifica en Partículas Suspendedas Totales (TSP), partículas con diámetro aerodinámico menor de 10 μm (PM10), Partículas con diámetro aerodinámico menor de 2,5 μm (PM2.5) y las partículas con diámetro aerodinámico menor de 0,1 μm o ultra finas (PUF) (Watson et al., 1998).

Según al proceso de formación, hay una clasificación muy referenciada del MP y fue la realizada por Warneck (1999). Este autor clasifica el MP de acuerdo al proceso de formación en: Primarias cuando son emitidas directamente a la atmósfera y conservan su composición química en el tiempo de residencia en el aire. Secundarias, si han sido formadas en la atmósfera por reacciones químicas, que pueden consistir en la interacción entre gases precursores en el aire para

formar una nueva partícula por condensación, o entre un gas y una partícula para dar lugar a un nuevo aerosol por absorción o coagulación.

Según su origen, el PM puede ser de origen natural o antropogénico. El origen antropogénico, puede proceder de diversas fuentes de emisión tales como tráfico, industria o agricultura. El origen natural de las partículas puede darse por erupciones volcánicas, descomposición de la materia orgánica entre otros.

5.2.4 Calidad del aire

La calidad del aire hace referencia al estado en que se encuentra la atmosfera al nivel de la troposfera para poder garantizar la salud pública y una buena calidad de vida, este estado depende de la composición del aire y de la presencia o ausencia de sustancias y de su nivel de concentración al cual se manifiestan como toxicas o nocivas para la salud humana y el medio ambiente, así como de los factores climáticos y físicos de las regiones específicas (16). Cuando se habla de la calidad de aire se hace referencia al concepto de inmisión el cual es definido según la Resolución No. 610 del 24 de marzo de 2010 del MAVDT (quien es la entidad encargada en Colombia de establecer, regular y controlar los niveles de concentración máximos permitidos de cada contaminante) como; la transferencia de contaminantes de la atmósfera a un “receptor” de tal manera que el aire inmiscible es aquel que es respirable a nivel de la troposfera y que debe estar “constituido por una mezcla gaseosa cuya composición normal es de por lo menos 20% de oxígeno, 77% de nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua en relación volumétrica” de acuerdo a la misma resolución (Gonzalez, 2015).

5.2.5 Contaminantes atmosféricos¹

De acuerdo a la Resolución No. 2254 de 2017 del MADS los contaminantes atmosféricos son; “fenómenos físicos o sustancias, en estado sólido, líquido o gaseoso, que por efectos de acumulación o concentración en el aire son causantes o generadores de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana, que solos o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de éstas.

5.2.6 Medidas de Manejo Ambiental

Los contaminantes atmosféricos también se pueden clasificar como contaminantes primarios o contaminantes secundarios y esta clasificación está específicamente relacionada con la generación directa o indirecta de estos, así con los contaminantes primarios se hace referencia a aquellos productos que son generados directamente en los procesos naturales o antropogénicos mientras que con los contaminantes secundarios se hace referencia a compuestos generados producto de la reacción de los contaminantes primarios entre ellos mismos o con componentes de la atmosfera y en la mayoría de los casos inducidos por fenómenos de radiación solar. En la tabla 5 se puede observar la clasificación de los contaminantes primarios y secundarios:

¹ *Ibíd.*, pág. 26.

Tabla 5.

Contaminantes primarios y contaminantes secundarios

Contaminante	Primario	Secundario	Natural	Antrópico
SO ₂	x		Volcanes, incendios forestales	derivados del petróleo y quema de carbón
H ₂ S	x		Descomposición materia orgánica y volcanes	Procesos industriales y mala combustión
H ₂ SO ₄		x	Humedad + H ₂ S	Humedad + H ₂ S
MSO ₄		Sales metálicas de sulfatos	Agentes oxidantes en síntesis orgánicas	
NO	x		Procesos biológicos en suelos, oxidación natural	Combustión a altas temperaturas
NO ₂	x	x	Procesos biológicos en suelos, oxidación natural	Combustión a altas temperaturas
NH ₃	x		Descomposición vegetal y animal	Procesos industriales
MNO ₃		Sales metálicas de nitratos		Procesos industriales

Compuestos orgánicos	Hidrocarburos alifáticos	cetonas aldehídos ácidos	Derivados oxigenados	
	Hidrocarburos aromáticos		Derivados halogenados	
CO	x		Océanos, incendios y oxidación de metano ambiente	Automóviles, industria
CO2	x		Respiración de los seres vivos	Procesos de producción de energía, la calefacción y el transporte
Formados en reacciones fotoquímicas		O3 Formaldehído Hidroperóxidos orgánicos		Nitratos de peroxiacetilo
Material Particulado PM10 y PM2.5	x	x	Incendios forestales, ciclones, polinización de las plantas	Quema de combustibles o la incineración de cualquier otro tipo de sustancia

Fuente. (González, Tomas. 2015)

5.2.7 Dióxido de azufre (SO₂)

El SO₂ hace referencia a la mezcla de compuestos gaseosos de óxido de azufre (SO_x), estos son gases incoloros que se producen por la oxidación del azufre en presencia de oxígeno, por lo que la fuente primaria de este tipo de contaminante es la combustión de combustibles fósiles

que contienen azufre como el carbón y el combustóleo. Los compuestos de óxidos de azufre se producen antropogenicamente también a partir de erupciones volcánicas.

La exposición a SO_2 produce irritación e inflamación aguda o crónica de las mucosas conjuntival y respiratoria, además estos óxidos pueden transformarse en otros productos, tales como partículas finas de sulfato (SO_4^{2-}) y niebla de ácido sulfúrico (H_2SO_4), dando como resultado la generación de lluvia ácida ($\text{pH} < 5.0$), lo cual aumenta los riesgos en la salud del ser humano y los daños ambientales (afectación agua, suelo, fauna y vegetación). Además, frente a la salud humana se ha establecido que bajo la combinación de partículas (MP) y SO_4^{2-} , suele aumentar el riesgo en la salud ya que actúan de manera sinérgica produciendo un efecto combinado mucho más nocivo que el efecto individual al incrementar la morbilidad y mortalidad de enfermos crónicos del corazón y vías respiratorias, en individuos asmáticos puede producir broncoconstricción.

5.2.8 Dióxido de nitrógeno (NO_2)

El NO_2 hace referencia a la mezcla de compuestos gaseosos de óxido de nitrógeno (NO_x) pero que son dados como dióxido de nitrógeno, en general son contaminantes primarios generados en la combustión de combustibles minerales. De esta manera las principales fuentes antropogénicas de NO_x , “son los vehículos automotores, procesos de generación de carbón, petróleo o gas natural, plantas de generación de electricidad, comercialmente al hacer reaccionar el ácido nítrico con metales o con celulosa y toda fuente industrial y residencial en la que haya quema de combustibles”. Los NO_x pueden formarse también naturalmente, a causa de incendios forestales, por la descomposición bacteriana de nitratos orgánicos u oxidación del amonio.

5.2.9 Dispersión de los contaminantes en la atmósfera

La dispersión de contaminantes atmosféricos es la forma como se mezclan los gases generados por las fuentes móviles o fijas con los gases que se encuentran en la atmósfera y de acuerdo a los cambios meteorológicos del lugar se esparcen en una dirección o se concentran en el lugar de origen. La dispersión de la contaminación atmosférica también puede ser dada por variaciones globales o locales según sea la topografía del lugar de incidencia. El viento puede desplazar los contaminantes atmosféricos haciendo que su concentración sea menor en un área determinado. La estabilidad atmosférica es cuando el aire más cálido que se encuentra a nivel de la superficie sube, se mezcla con el aire más frío y genera dispersión de contaminantes atmosféricos. La inversión térmica hace lo contrario a la estabilidad atmosférica debido a que una fuente de aire caliente se encuentra por encima de una fría lo que bloquea la salida de la contaminación atmosférica en la superficie terrestre. La precipitación genera un efecto beneficioso porque se mezcla con el aire y disuelve los gases contaminantes. La concentración de contaminación atmosférica es más mayor en ciudades con edificios altos o con áreas montañosas ya que su dispersión es bloqueada y los volúmenes tienden a hacerse mayores.

5.2.10 Fuentes de emisiones de contaminantes

Las emisiones por fuentes móviles se producen por la quema de combustibles fósiles utilizados por el parque automotor ya que los vehículos automotores son los principales emisores de contaminantes como óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados, dióxidos de azufre y compuestos orgánicos volátiles (IDEAM, 2013).

5.2.11 Fuentes de emisiones por Intervención de proyectos viales

Parte de las fuentes de las emisiones de dióxido de carbono procede de los automóviles y las instalaciones de material particulado. La principal causa del calentamiento global es el CO₂. La mayor contaminación del aire parte del proyecto vial ruta del sol, sector III, tramo 8 Bosconia-Valledupar, se derivan de su parque automotor (fuentes móviles) en los que encontramos los camiones, las volquetas, tractomulas, maquinaria amarilla, otra parte por el acarreo y extendido de materiales pétreos para la construcción de las calzadas.

Por otra parte la contaminación también viene derivada por terceros o transeúntes que utilizan volquetas, mulas, motos, Buses, vehículos livianos, motos de 2 tiempos, taxis y tractocamiones, estos de la misma cotidianidad de la movilidad en la carretera.

5.2.12 Rosa de vientos

La rosa de vientos es un método gráfico de mucha importancia en los estudios de calidad del aire porque permite determinar la distribución de la dirección y velocidad del viento con el tiempo y así estar al tanto de la influencia que tiene la concentración de los compuestos tóxicos que contaminan la atmósfera del lugar de estudio. Una rosa del viento consiste en una serie de líneas que parten del centro de un círculo y apuntan a la dirección que el viento sopla. La longitud de cada línea representa la frecuencia del viento en aquella dirección en particular. Las líneas también muestran la velocidad del viento expresada en metros por segundos, estas velocidades miden la fuerza (ver tabla 6) con que el viento sopla en un rango de 0 (calmado) a 12 (huracán).

Tabla 6.

Escala beaufort de velocidad del viento

Fuerza	Descripción	Velocidad m/s
0	Calmado	0
1	Ligero	1--3
2	Ligero	4--7
3	Ligero	8--12
4	Moderado	13--18
5	Fresco	19--24
6	Fuerte	25--31
7	Fuerte	32--38
8	Vendaval fresco	39--46
9	Vendaval fuerte	47--54
10	Vendaval total	55--63
11	Vendaval tempestuoso	64--72
12	Huracán	73--82

Fuente. (González, Tomas. 2015)

5.3 Marco Conceptual

Aire: Fluido que forma la atmósfera de la Tierra, constituido por una mezcla gaseosa cuya composición normal es de por lo menos 20% de oxígeno, 77% de nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua en relación volumétrica (Decreto 948 de 1995).

Área-Fuente: Es una determinada zona o región, urbana, suburbana o rural, que, por albergar múltiples fuentes fijas de emisión, es considerada como un área especialmente generadora de sustancias contaminantes del aire (Decreto 948 de 1995).

Atmósfera: Es la capa gaseosa que rodea a la Tierra (Decreto 948 de 1995).

CO (Monóxido de carbono): Gas inflamable, incoloro e insípido que se produce por la combustión de combustibles fósiles (Decreto 948 de 1995).

Concentración de una Sustancia en el Aire: Es la relación que existe entre el peso o el volumen de una sustancia y la unidad de volumen de aire en la cual está contenida (Decreto 948 de 1995).

Condiciones de Referencia: Son los valores de temperatura y presión con base en los cuales se fijan las normas de calidad del aire y de las emisiones, que respectivamente equivalen a 25 °C y 760 mm Hg (1 atmósfera de presión) (Decreto 948 de 1995).

Contaminación Atmosférica: Es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire (Decreto 948 de 1995).

Contaminante del Aire: cualquier sustancia presente en el aire que por su naturaleza sea capaz de modificar los constituyentes naturales de la atmósfera, alterando sus propiedades físicas o químicas. Su concentración y período de permanencia en la misma puede originar efectos nocivos sobre la salud de las personas y el ambiente (Decreto 948 de 1995).

Contaminantes: Fenómenos físicos o sustancias, o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana que, solos o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de éstas.

Dióxido de Azufre (SO₂): producto gaseoso de la combustión de compuestos que contienen azufre, de olor sofocante y fuerte. Se oxida en la atmósfera húmeda y se transforma en ácido sulfúrico.

Emisión: Descarga de una sustancia o elemento al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de estos, provenientes de una fuente fija o móvil (Decreto 948 de 1995).

Episodio o Evento: Es la ocurrencia o acaecimiento de un estado tal de concentración de contaminantes en el aire que, dados sus valores y tiempo de duración o exposición, impone la declaratoria por la autoridad ambiental competente, de alguno de los niveles de contaminación, distinto del normal.

Fuente de Emisión: es toda actividad, proceso u operación, realizado por los seres humanos o con su intervención, susceptible de emitir contaminantes al aire (Decreto 948 de 1995).

Fuente Fija: Fuente de emisión situada en un lugar determinado e inamovible, aun cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa (Decreto 948 de 1995).

Fuente Móvil: Es la fuente de emisión que, por razón de su uso o propósito, es susceptible de desplazarse, como los automotores o vehículos de transporte a motor de cualquier naturaleza (Decreto 948 de 1995).

Inmisión: Transferencia de contaminantes de la atmósfera a un “receptor”. Se entiende por inmisión a la acción opuesta a la emisión. Aire inmiscible es el aire respirable a nivel de la troposfera.

Material Particulado 10 y 2.5 (PM10 y PM2.5): material cuyo diámetro aerodinámico es igual o menor que 10 micrones y 2.5 micrones, respectivamente. Por su pequeño tamaño son las fracciones de partículas suspendidas de mayor importancia para la protección de la salud (Decreto 948 de 1995).

Monitorear: seguir periódicamente, con mediciones, la presencia de algunos componentes; en este caso, de un contaminante.

Monóxido de Carbono: gas producido por la combustión incompleta del carbón o de sustancias orgánicas. Es un contaminante de las ciudades, producido, especialmente, por los automóviles. También es el resultado de incendios forestales (Decreto 948 de 1995).

NO₂ (Dióxido de Nitrógeno): Gas de color pardo rojizo fuertemente tóxico cuya presencia en el aire de los centros urbanos se debe a la oxidación del nitrógeno atmosférico que se utiliza en los procesos de combustión en los vehículos y fábricas (Decreto 948 de 1995).

Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión: Es el nivel de concentración legalmente permisible de sustancias o fenómenos contaminantes presentes en el aire, establecido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, con el fin de preservar la buena calidad del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana (Decreto 948 de 1995).

PST (Partículas Suspendidas Totales): Material particulado que incluye tanto a la fracción inhalable como a las mayores de 10 micras, que no se sedimentan en periodos cortos, sino que permanecen suspendidas en el aire debido a su tamaño y densidad (Decreto 948 de 1995).

PM₁₀ (Material Particulado Menor a 10 Micras): Material particulado con un diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micrómetros nominales (Decreto 948 de 1995).

PM_{2.5} (Material Particulado Menor a 2,5 Micras): Material particulado con un diámetro aerodinámico menor o igual a 2,5 micrómetros nominales (Decreto 948 de 1995).

Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire: Conjunto de equipos de medición de calidad del aire instalados sistemáticamente para verificar el cumplimiento de uno o varios de los objetivos de vigilancia de calidad del aire previstos en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire (Decreto 948 de 1995).

SO₂ (Dióxido de Azufre): Gas incoloro, no inflamable que posee un fuerte olor en altas concentraciones.

Sustancias Peligrosas: Son aquellas que aisladas o en combinación con otras, por sus características infecciosas, tóxicas, explosivas, corrosivas, inflamables, volátiles, combustibles, radiactivas o reactivas, pueden causar daño a la salud humana, a los recursos naturales renovables o al ambiente. (Decreto 948 de 1995).

Tiempo de Exposición: es el lapso de duración de un episodio o evento (Decreto 948 de 1995).

5.4 Marco Contextual

El proyecto está en la Ruta Nacional 8003 entre Valledupar y Bosconia. El único peaje en esta vía está ubicado en inmediaciones del corregimiento de Valencia de Jesús.

Figura 1.

Ubicación geográfica del área de intervención (Bosconia- Valledupar)



Fuente. (Google maps, 2021)

5.4.1 Geografía

Limita hacia el norte con el corregimiento de Azúcar Buena; hacia el occidente con la zona rural de la ciudad de Valledupar. Al sur limita con el municipio de San Diego y al occidente con el corregimiento de Aguas Blancas.

5.5 Marco Legal

Tabla 7.

Normatividad

COMPONENTE	NORMATIVA	ARTICULO	REVISIÓN
CALIDAD DEL AIRE	DECRETO 948 DE 1995	Artículo: 19, 20, 21, 22, 23, 35, 36,37, 57, 59, 111, 112, 113, 114.	Establece el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire, de alcance general y aplicable en todo el territorio nacional, mediante el cual se establecen las Normas y principios generales para la protección atmosférica, los mecanismos de prevención, control y atención de episodios por contaminación del aire, generada por fuentes contaminantes fijas y móviles,
	RESOLUCIÓN 2254 DE 2017	2, 3, 8, 10, 19, 20, 21.	Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones como la consagración como derecho colectivo De gozar de una buena calidad de aire.
	RESOLUCIÓN 650 DE 2010.	1, 2	Por la cual se adopta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire

COMPONENTE	NORMATIVA	ARTICULO	REVISIÓN
	RESOLUCIÓN 2154 de 2010.	1, 2.	Por la cual se ajusta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire adoptado a través de la Resolución 650 De 2010 y se adoptan otras disposiciones.

Fuente. Autores (2021)

6. Marco Metodológico

6.1 Línea de Investigación

El proyecto está dirigido hacia la **línea de investigación** Sostenibilidad y gestión ambiental y La **sub-línea de investigación** Gestión integral de la calidad del aire.

6.2 Tipo de Investigación

La investigación es de tipo descriptiva, se apoyará y comparará la información ambiental recolectada y la adaptará a la realidad actual del momento. Cuyo objeto de estudio son las concentraciones de Pm₁₀, PST, SO₂, NO₂ y CO, en el corregimiento de Valencia de Jesús (Zulay, 2017).

Las actividades a desarrollar en esta metodología son secuenciales en cada una de sus fases. Se va a realizar por observación directa y análisis deductivo de los datos obtenidos.

6.3 Nivel de investigación

La metodología de trabajo que se plantea trabajar es cuantitativa, Documentada la cual se desarrollará bajo los lineamientos establecidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), especialmente en su resolución 2254 de 2017.

6.4 Población de Estudio

La población para este estudio de investigación serán los proyectos viales que se desarrollan en el departamento del Cesar.

6.5 Muestra poblacional

La muestra de esta investigación será el tramo vial Bosconia- Valledupar.

6.6 Diseño de la investigación

Permitirá describir y documentar bajo el análisis de los resultados arrojados de la caracterización de los parámetros y sus medidas de manejo si exceden los niveles máximos permisibles.

Perspectivo: Porque se analizará bajo acontecimientos presentes y de planificación futura.

6.7 Desarrollo Metodológico

6.7.1 *Etapa 1. Valoración de la concentración de los contaminantes Pm_{10} , PST, CO, SO_2 , NO_2* Determinar la concentración de Pm_{10} , PST, CO, SO_2 , NO_2

Se realizará un recorrido por toda el área que conforma el corregimiento, de ser posible se contará con el apoyo de uno de los funcionarios de la secretaría ambiental del municipio o afines. Esto con el fin de revisar e identificar la posible ubicación de los puntos o estación de monitoreo donde por deducción haya mayor incidencia de fuente fijas y móviles de contaminación. Durante la inspección los puntos se identificarán con una estaca de madera y una cinta de color llamativo.

Luego, se procederá a realizar las mediciones en los puntos o zonas más críticas en cuanto a las concentraciones de Pm_{10} , PST, SO_2 , NO_2 y CO. En este caso las mediciones se realizarán bajo las condiciones de 18 días diferentes por un periodo de 24 horas por cada una de estas. Es decir, en los puntos identificados se colocará el equipo en funcionamiento durante 24 horas en dieciocho ocasiones diferentes, para poder obtener un ponderado considerando también las diferentes variables como humedad, temperatura, velocidad y dirección del viento.

6.7.1.1 *Métodos para determinar las concentraciones los contaminantes*

Determinación de Material Particulado

El material particulado PM_{10} y PST se determina mediante el método establecido en la Norma Técnica Colombiana 3704, que corresponde al método de la EPA 40CFR Part 50 Appendix

B y J. Se siguen todos los protocolos para identificación y trazabilidad de muestras y la debida protección de los filtros contra la contaminación cruzada.

Mediante un equipo de muestreo HiVol (de alto volumen) se hace pasar una muestra de aire a través de un filtro prepesado. Para el caso de PM₁₀ se agrega un clasificador de partículas antes del filtro. Cada filtro se pesa con precisión de 4 decimales de gramo antes y después de exponerse a la muestra, y en las mismas condiciones de humedad relativa y temperatura ambiente. El peso ganado se divide por el volumen de aire a través del filtro, el cual se calcula con base en el flujo estándar y el tiempo de muestreo. El resultado se expresa en microgramos de partículas por metro cúbico estándar de aire (ug/m³) En este método, el flujo de muestreo está definido entre 40 y 60 pie³/min PM₁₀, y los tiempos de muestreo válidos están definidos entre 23 y 25 horas continuas.

El flujo estándar se determina mediante la Tabla precalibrada suministrada por el fabricante de los controladores de flujo. En estos, el procedimiento es el siguiente:

Determinar la presión y temperatura locales.

Encender el muestreador y probar que no haya fugas.

Leer la caída de presión en el filtro (Pf, plgH₂O) La lectura de Pf se toma al inicio y al final del muestreo y se promedian los dos valores.

Calcular relación de presiones P₀/P_a como $P_0/P_a = 1 - (P_f/P_a)$ (llamado también factor R)

La Pf promedio y la presión atmosférica P_a deben estar en las mismas unidades

Con la temperatura ambiente promedio de cada muestra y la relación de presiones leer el flujo en la Tabla del controlador de flujo y convertirlo a flujo estándar de muestreo por:

$$Q_{std} = Q_a \times (P_a/760) \times (298/T)$$

P_a en mmHg y T temperatura de muestreo en K.

Antes de iniciar el monitoreo se verifica la calibración de los equipos probando que el flujo calculado con un patrón (medidor de orificio) sea similar al flujo medido, que se lee en las tablas de los controladores de flujo. El criterio para aceptación es que la diferencia entre los flujos calculado y leído no sea mayor al 4%.

El tiempo de muestreo se contabiliza en un horómetro que va conectado en serie con los motores HiVol, de forma que miden el tiempo real de muestreo.

El cálculo de la concentración de PM₁₀ o PST es como sigue:

$$C = \frac{(wf - wi) \times 10^6}{Q_{std} \times t}$$

Donde:

C = Concentración de partículas PM₁₀ o PST µg/m³ (también se usa: ug/m³)

Wf = peso final del filtro, g

Wi = peso inicial del filtro, g

10⁶ = Factor de conversión a microgramos

Q_{std} = Flujo estándar de muestreo, m³/min

t = Tiempo de muestreo, min

Determinación de SO₂ y NO_x

Las muestras de aire para análisis de SO₂ y NO_x se toman simultáneas con la de partículas mediante el tren de muestreo tipo Andersen, usando una bomba de vacío para hacer pasar el aire por 24 horas a través de burbujeadores con soluciones absorbentes para NO₂ y SO₂.

Los óxidos de nitrógeno son absorbidos de la muestra de aire por una solución de

Trietanolamina y n-butanol, contenida en uno de los burbujeadores. Los NO_x colectados se derivatiza en el laboratorio a un azo-compuesto con sulfanilamida y NEDA, y se cuantifica por medición espectrofotométrica a 540 nm.

Para tomar la muestra de NO_x se prepara el tren de muestreo con 50 mL de solución absorbente, el orificio crítico y la bomba con capacidad de vacío de 500 mmHg. Se enciende la bomba, se revisa el flujo entrante (entre 0,15 y 0,20 L/min). Se toma la muestra durante 24 horas. Al final del muestreo se registra de nuevo el flujo. Se colecta la solución en envase de vidrio color oscuro y se mantiene refrigerado hasta su análisis en laboratorio.

Para la calibración del tren de muestreo de gases, se siguen las especificaciones recomendadas por U.S. EPA Test Method EPA-600/4-77-027A, Secciones 1 a la 7. La condición de flujo crítico se consigue como se describe en el inciso 22, de la sección 2, “Calibration of Equipment”, “Sampling Train To Control Devices”, para lo cual se utilizan agujas hipodérmicas No. 25, garantizando que la presión absoluta corriente abajo de la boquilla fuera máximo de 0,45 a 0,53 la presión absoluta corriente arriba de la boquilla, a la altitud del sitio de muestreo. De esta manera se reguló el vacío de la bomba hasta obtener la condición de flujo crítico y caudales de succión entre 0,18 y 0,20 litros/min.

El análisis en laboratorio consiste en: Transferir 10 mL de solución absorbente a una probeta graduada de 25 mL. Analizar simultáneamente un blanco. A cada probeta adicionar 1,0 mL de solución de peróxido de hidrógeno y mezclar bien. Luego, adicionar 10 mL de solución de sulfanilamida y 1,0 mL de solución de NEDA, mezclar bien y dejar desarrollar el color por 10 minutos. Medir la absorbancia de la muestra (menos la del blanco) a 540 nm. El NO₂ se determina luego, a partir de la curva de calibración del espectrofotómetro.

Con la absorbancia obtenida en cada muestra, se leen directamente los µg de NO₂ a partir de la curva de calibración y se calcula:

$$C = \frac{\mu g NO_2 \times 10^3}{r * t * k} \quad (\text{en } g NO_2 / m^3)$$

$$p = \frac{\mu g NO_2 \times 0.532}{r * t * k} = \frac{C * 0.532}{10^3} \quad ppm$$

Donde:

C = Concentración, $\mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$

p = Concentración, ppm NO_2 ($\mu\text{L}/\text{L}$)

r = Flujo de muestreo, L/min

t = Tiempo de muestreo, min

k = Factor de dilución (por ejemplo = 0,2 si se analiza 1/5 de la muestra)

0,532 = $\mu\text{L NO}_2/\mu\text{g NO}_2$ a 25°C y 760 mmHg

El **Dióxido de Azufre** se mide por el método de referencia de la Resolución 19622 de 1985 que corresponde al US EPA 40 CFR Parte 50 Apéndice A. La muestra de aire se pasa por una solución absorbente de tetracloromercurato de potasio en el mismo tren de muestreo Andersen a un flujo entre 0,18 y 0,22 L/min. Una vez terminado el periodo de muestreo, las muestras se refrigeran y envían al laboratorio donde se desarrolla el color de la solución absorbente con pararosanilina y se lee la absorbancia en un espectrofotómetro.

La concentración de dióxido de azufre en el aire se calcula como:

$$\mu\text{gSO}_2/\text{m}^3 = \frac{(A - A_0)Bx * 10^3 V_b}{V V_a}$$

Donde:

A – A₀ = Absorbancia corregida por el blanco en el espectrofotómetro

Bx = Recíproco de la pendiente de la curva de calibración del espectrofotómetro

V = Volumen de aire muestreado, mL

V_b = Volumen de la solución absorbente, mL

V_a = Volumen de la alícuota analizada en el espectrofotómetro, mL

Determinación de Monóxido de Carbono

Para la determinación de monóxido de carbono se utiliza equipo con celda electroquímica y sensor digital de lectura directa, verificado contra el equipo de referencia marca TISCH modelo Criterion 3.0, corresponde al método equivalente de la EPA número: RFCA-0509-174. El resultado de las mediciones corresponde al promedio de las lecturas realizadas en un intervalo de 60 minutos. Se registra la concentración que el equipo indica en partes por millón (ppm).

6.7.1.2 Crear un mapa, que, por estratificación de colores, muestre la calidad del aire

Para la creación del mapa que nos muestre por estratificación de colores la calidad del aire en las diferentes áreas del corregimiento utilizaremos las herramientas QGIS. Se realizó mapas de isopletas o isocías de los puntos muestreados con los datos de concentración de cada contaminante.

6.7.2 Etapa 2. Analizar los resultados obtenidos de las mediciones y comparar con la resolución 2254 de 2017.

Para analizar los datos numéricos se utilizará la herramienta estadística *Excel*, para poder establecer las tendencias de estos para los puntos críticos evaluados. Las variables estadísticas se aplicarán tanto a los datos en conjunto como de forma individual durante cada una de las jornadas de medición.

Se evaluarán los datos obtenidos en las mediciones de cada punto para así determinar el grado de cumplimiento de la resolución 2254 de 2017. Para esto se cruzará la información del resultado con las observaciones, a fin de obtener relaciones de causalidad. También se compararán, de forma normalizada en el tiempo, con los resultados reportados por la Corporación Autónoma Regional del Cesar, Corpocesar; con el fin de observar el grado de reproductividad y precisión del método utilizado.

6.7.3 Etapa 3. Índice de la calidad del aire ICA

Con base en los resultados obtenidos para cada contaminante evaluado se calculan los Índices de Calidad del Aire, de acuerdo con el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire. La expresión utilizada es:

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo}$$

Donde:

I_p = Índice de Calidad para el contaminante p

C_p = Concentración resultante para el contaminante p

BP_{Hi} = Punto de corte mayor o igual a C_p

BP_{Lo} = Punto de corte menor o igual a C_p

I_{Hi} = Valor del ICA a BP_{Hi}

I_{Lo} = Valor del ICA a BP_{Lo}

Tabla 8.

Índice de calidad de aire

Índice de Calidad del Aire			Puntos de corte del ICA						
ICA	Color	Categoría	ug/m ³ 24 horas	ug/m ³ 24 horas	ug/m ³ 8 horas	ug/m ³ 1 hora	pg/m ³ 1 hora	ug/m ³ 8 horas	ug/m ³ 1 hora (1)
0-50	Verde	Buena	0 — 54	0-12	0 - 5094	0-93	0- 100	0-106	
51-100	Amarillo	Aceptable	55-154	13 - 37	5095- 10819	94 -197	101-189	107 -138	
101 - 150	Naranja	Dañina a la salud de Grupos Sensibles	155-254	38 —55	10820-14254	198-486	190- 677	139- 167	245 -323
151 -200	Rojo	Dañina a la salud	255 - 354	56 - 150	14255 — 17688	487-797	678 -1221	168 - 207	324- 401
201 • 300	Púrpura	Muy dañina a la salud	355 -424	151 - 250	1768934862	798-1583	1222- 2349	208 - 393	402- 794
301 - 500	Marrón	Peligrosa	425 - 604	251 - 500	34863 57703	1584-2629	2350- 3853	394(2)	795-1185

Fuente: Resolución 2254 del 2017

Los puntos de corte que determinan los intervalos de concentraciones más significativas para la clasificación de la calidad del aire según los ICA, se encuentran en la Tabla 8.

6.7.4 Etapa 4. Establecer alternativas de solución a partir del análisis de los resultados.

En caso de que el análisis muestre resultados desfavorables con respecto a los límites máximos permisibles, se procederá hacer observaciones y presentar recomendaciones que puedan dar solución a esta problemática de carácter social y ambiental, teniendo en cuenta la fuente o fuentes contaminantes más importantes a controlar para disminuir estas concentraciones.

6.8 Resultados Esperados

6.8.1 Actividades correspondientes al desarrollo metodológico.

Se le dé cumplimiento a todas las actividades planteadas dentro de las fases del desarrollo metodológico.

6.8.2 Indicador

Cumplimiento de los objetivos = $\frac{\text{Objetivos propuestos}}{\text{objetivos ejecutados}}$

6.8.3 Meta

Se espera que se le cumplimiento a las actividades igual o mayor al 90% ($\geq 90\%$).

6.8.4 Producto

Se espera que se pueda realizar análisis de la calidad del aire en la intervención del proyecto ruta del sol, sector III, Bosconia-Valledupar, departamento del Cesar.

6.8.5 Resultado

Se realice con satisfacción la investigación planteada, sin ningún contratiempo.

7. Resultados y discusiones

7.1 Determinar las concentraciones de los contaminantes PM10, PST, SO2, NO2 y CO en el aire del tramo vial Bosconia- Valledupar.

A continuación, se identifican los sitios de monitoreo que fueron evaluados para la Calidad del Aire en zona de influencia de la autopista Ruta del Sol sector III, tramos Bosconia-Valledupar, en el monitoreo realizado en Junio de 2021, y su registro fotográfico. Los puntos A1, P1, P2, P3 y P4 corresponden al tramo 8 el cual comprende la carretera entre Valledupar-Bosconia (Ver Anexos).

Tabla 9.

Identificación de los puntos de calidad del aire, junio-2021

Punto de monitoreo	Descripción	Coordenadas planas MS-Origen Bogotá		Altitud msnm
		Este	Norte	
A1	Valencia de Jesús	1011335	1619546	143
P1	Caracolí	1037392	1606293	125
P2	Mariangola	1053773	1618166	123
P3	Aguas Blancas	1064459	1622735	107
P4	Valledupar	1090767	1647245	164

Fuente. Autores (2022)

El Registro Fotográfico de los 4 puntos monitoreados se encuentra en los Anexos adjuntos (Ver Anexos).

Las condiciones meteorológicas en el tramo 8, se determinaron mediante Estación marca Davis, modelo Advantage Pro 2 Plus, que graba automáticamente los promedios cada hora para diferentes variables climáticas. Las principales variables que intervinieron en este estudio de calidad del aire son: Temperatura, Humedad Relativa, Presión Barométrica, Precipitaciones, Velocidad y Dirección del Viento. En la Tabla 10 se resumen los promedios diarios, obtenidos durante el monitoreo en el tramo 8.

Tabla 10.

Promedios diarios de las principales variables meteorológicas, tramo 8

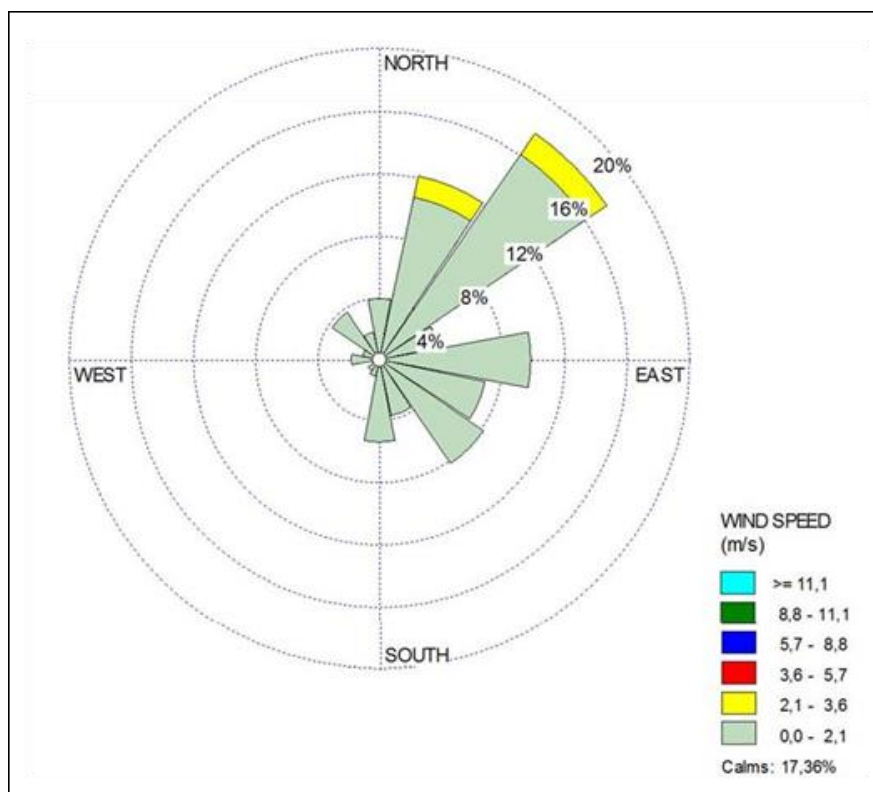
Fechas	Temperatura, °C	Humedad Relativa, %	Presión barométrica, mmHg	Precipitación, mm	Velocidad del viento, m/s
2021-05-25	31,7	66,8	749,6	0,00	0,63
2021-05-26	29,6	72,4	751,0	8,38	1,14
2021-05-27	27,9	80,0	752,4	7,62	0,60
2021-05-28	29,4	73,3	751,1	0,00	1,13
2021-05-29	28,8	79,3	752,2	0,50	0,60
2021-05-30	29,6	75,3	751,5	0,00	0,82
2021-05-31	30,1	72,2	751,0	0,00	0,70
2021-06-01	30,9	66,0	751,2	0,00	1,03
2021-06-02	31,4	65,4	750,1	0,00	1,11
2021-06-03	32,1	63,7	749,1	0,00	0,94
2021-06-04	32,4	63,8	748,9	0,00	0,80
2021-06-05	31,8	67,6	749,6	0,00	0,67
2021-06-06	30,5	72,3	749,8	2,54	0,68
2021-06-07	28,3	80,1	750,8	27,43	0,47
2021-06-08	25,9	90,8	752,9	2,03	0,14
2021-06-09	27,6	83,5	752,3	1,77	0,30
2021-06-10	30,6	73,1	751,3	0,00	0,50
2021-06-11	31,0	69,4	751,0	0,00	0,80

Fuente. Autores (2022)

Se obtuvo la Rosa de Vientos de la Figura 2 para el tramo 8, donde se observa que la dirección predominante del viento fue soplando desde el Noreste (NE) y Nor-Noreste (NNE), con alguna presencia menor de casos desde el Este (E) y Sureste (SE). Las velocidades del viento presentaron valores en las dos primeras categorías, entre 0,1 y 3,6 m/s. Por su parte los vientos en calma presentaron una proporción del 17,36% de los casos.

Figura 2.

Rosa de vientos durante el monitoreo, jun-2021, tramo 8



Fuente. Autores (2022)

En la Tabla 11 a la Tabla 15 se encuentran los datos y resultados del muestreo de material particulado obtenidos en los puntos de monitoreo ubicados en zona de influencia del tramo 8.

En la Gráfica 1 a la Gráfica 5 se representa el comportamiento diario de los niveles de PM10 y PST y su comparación con los límites establecidos para muestras de 24 horas, de acuerdo con las Resoluciones 610 y 650 de 2010.

Durante el monitoreo de material particulado las posibles fuentes de partículas, tanto internas como externas a las actividades, fueron:

- Remoción y transporte de tierras
- Combustión de diésel en la maquinaria pesada y vehículos que intervienen

- Tránsito de vehículos por los tramos existentes
- Erosión por viento desde áreas destapadas

En el Punto A1 de monitoreo (Valencia de Jesús) se obtuvieron concentraciones de PM10 entre $12,2 \text{ ug/m}^3$ y $35,1 \text{ ug/m}^3$, se consideran bajas. Comparando con la norma diaria de 100 ug/m^3 , todos los valores estuvieron por debajo del límite. El promedio obtenido de $21,6 \text{ ug/m}^3$ cumplió con el límite para promedio anual establecido en 50 ug/m^3 , representó el 44% de la norma anual.

Las partículas suspendidas totales PST en el Punto A1 estuvieron entre $15,4 \text{ ug/m}^3$ y $49,9 \text{ ug/m}^3$, estos valores se consideran bajos. Comparando con la norma diaria de 300 ug/m^3 , todos estos resultados estuvieron por debajo del límite. El promedio obtenido de $28,6 \text{ ug/m}^3$ estuvo por debajo del límite promedio, establecido en 100 ug/m^3 .

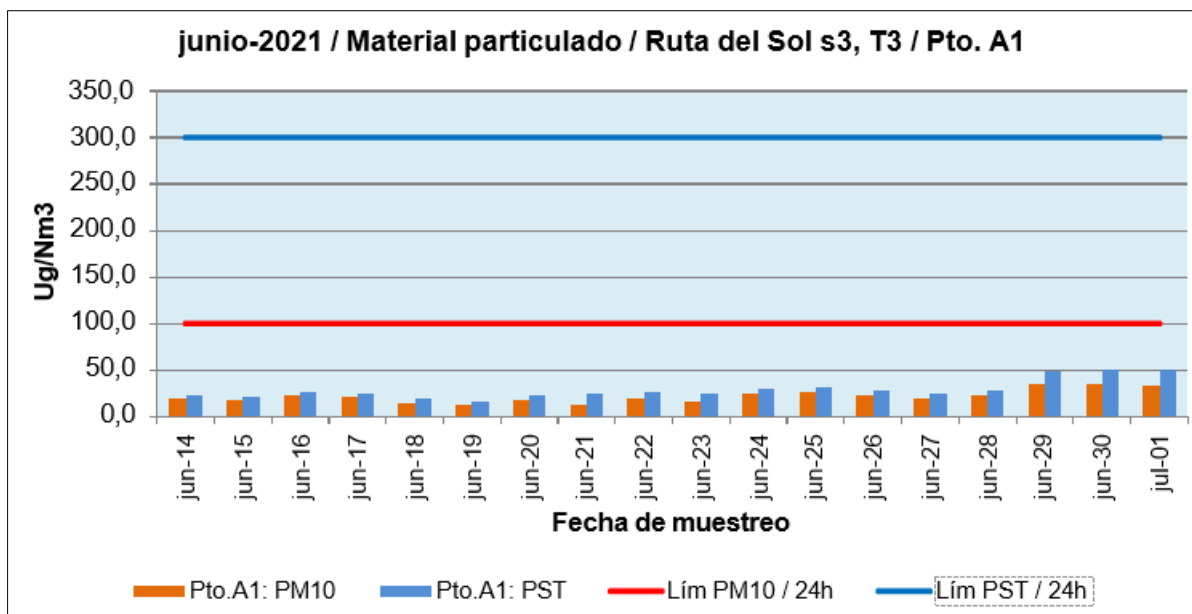
Lo anterior indica que con los valores obtenidos, los promedios de PM10 y PST en el Punto A1 se pueden mantener por debajo sus correspondientes límites anuales.

Factores de material particulado: En este punto se observó poco aporte de material particulado por tránsito de vehículos (punto ubicado a aprox. 200 m de distancia) y poca resuspensión por el viento desde áreas destapadas. Además, se presentaron algunas lluvias durante el monitoreo lo que contribuye a humedecer las superficies.

Nota: En este punto A1 debido a una imponderable falla prolongada de energía eléctrica, la muestra 2.11 no cumplió con el tiempo mínimo establecido en 1380 minutos de muestreo (mostrado en color rojo en la Tabla 11), por lo tanto se descartó para el cálculo de promedios, máximos, mínimos e ICA. Sin embargo, en este caso se observó que su resultado no se salió de la tendencia de los demás.

Gráfica 1.

Comportamiento diario y normas para material particulado, Punto A1



Fuente. Autores (2022)

Tabla 11.

Punto A1, Resultados monitoreo material particulado, jun-2021

MTR A N°	FILT RO N°	FECHA de toma (fin) aa.mm.d d	tiempo min	P0/Pa	T°C prom	Qa	QSTD	VTOT	PESO, g		CONC
						Leido m ³ /min	m ³ /mi n	AL Nm ³	INICI O	FIN	PM10 g/Nm ³
PM10 – A1: Valencia de Jesús					VFC :	7785	Pbar =mm	748			
2.1	3528	21.06.14	1413	0,958	27,6	1,214	1,146	1618,80	4,3062	4,3375	19,3
2.2	3529	21.06.15	1384	0,957	25,1	1,168	1,149	1589,36	4,2964	4,3234	21,0
2.3	3530	21.06.16	1385	0,957	26,6	1,211	1,147	1587,92	4,2927	4,3285	22,5
2.4	3531	21.06.17	1385	0,958	26,1	1,210	1,147	1589,55	4,2869	4,3202	20,9
2.5	3532	21.06.18	1382	0,958	26,1	1,210	1,147	1585,26	4,2849	4,3083	14,8
2.6	3533	21.06.19	1440	0,958	26,5	1,212	1,148	1652,83	4,2858	4,3060	12,2
2.7	3534	21.06.20	1415	0,958	28,0	1,214	1,144	1618,43	4,2574	4,2861	21,7
2.8	3535	21.06.21	1415	0,957	27,6	1,213	1,145	1620,28	4,2806	4,3020	13,2
2.9	3536	21.06.22	1418	0,958	27,5	1,212	1,144	1622,93	4,2804	4,3120	19,5
2.10	3537	21.06.23	1459	0,958	27,7	1,214	1,145	1670,34	4,2804	4,3058	15,2
2.11	3538	21.06.24	1267	0,957	28,5	1,215	1,143	1447,88	4,2998	4,3364	25,3
2.12	3539	21.06.25	1409	0,958	27,1	1,212	1,146	1613,87	4,2700	4,3137	27,1
2.13	3540	21.06.26	1385	0,958	26,6	1,212	1,148	1589,85	4,2840	4,3215	23,6
2.14	3541	21.06.27	1397	0,958	27,4	1,212	1,145	1598,73	4,2861	4,3212	19,5
2.15	3542	21.06.28	1458	0,958	27,2	1,212	1,145	1669,77	4,3034	4,3403	22,1

2.16	3543	21.06.29	1421	0,957	28,0	1,213	1,143	1620,23	4,2734	4,3289	34,3
2.21	3544	21.06.30	1421	0,958	28,4	1,214	1,143	1619,32	4,2954	4,3523	35,1
2.18	3545	21.07.01	1387	0,957	28,5	1,213	1,141	1583,12	4,2788	4,3324	33,9
								12,2	35,1	20,6	21,6
								mínimo	máximo	promedio geométrico	promedio aritmético
PST – A1: Valencia de Jesús					VFC	7827	Pbar =mm	748			PST □ g/Nm ³
2.1	9055	21.06.14	1413	0,960	27,6	1,185	1,156	1633,96	2,7221	2,7589	22,8
2.2	9056	21.06.15	1384	0,958	25,1	1,217	1,158	1602,29	2,7271	2,7598	20,4
2.3	9057	21.06.16	1385	0,960	26,6	1,183	1,158	1604,19	2,7029	2,7438	25,5
2.4	9058	21.06.21	1385	0,961	26,1	1,183	1,160	1607,21	2,6749	2,7136	24,1
2.5	9059	21.06.18	1382	0,961	26,1	1,183	1,160	1602,87	2,6931	2,7255	20,2
2.6	9060	21.06.19	1440	0,961	26,5	1,185	1,160	1670,46	2,7279	2,7537	15,4
2.7	9061	21.06.20	1415	0,961	28,0	1,186	1,156	1634,98	2,7149	2,7509	22,0
2.8	9062	21.06.21	1415	0,962	27,6	1,187	1,158	1639,61	2,7202	2,7596	24,0
2.9	9063	21.06.22	1418	0,960	27,5	1,183	1,155	1638,21	2,7253	2,7693	26,9
2.10	9064	21.06.23	1459	0,962	27,7	1,187	1,158	1688,84	2,7268	2,7687	24,8
2.11	9065	21.06.24	1267	0,961	28,5	1,188	1,156	1464,53	2,7214	2,7611	29,8
2.12	9066	21.06.25	1409	0,961	27,1	1,185	1,158	1631,09	2,7375	2,7899	32,1
2.13	9067	21.06.26	1385	0,960	26,6	1,183	1,158	1604,77	2,7300	2,7742	27,5
2.14	9068	21.06.27	1397	0,962	27,4	1,186	1,158	1621,14	2,7228	2,7619	24,2
2.15	9069	21.06.28	1458	0,962	27,2	1,186	1,158	1689,01	2,7363	2,7833	27,8
2.16	9070	21.06.29	1421	0,962	28,0	1,187	1,157	1639,56	2,7279	2,8071	48,3
2.21	9071	21.06.30	1421	0,961	28,4	1,186	1,154	1635,87	2,7025	2,7842	49,9
2.18	9072	21.07.01	1387	0,962	28,5	1,187	1,155	1602,02	2,7291	2,8089	49,8
								15,4	49,9	27,1	28,6
								mínimo	máximo	promedio geométrico	promedio aritmético

Fuente. Autores (2022)

En el Punto P1 de monitoreo (Caracolí) se obtuvieron concentraciones de PM10 entre 15,8 ug/m³ y 50,4 ug/m³, estas se consideran bajas o normales. En comparación con la norma para concentración diaria establecida en 100 ug/m³, todas se encontraron cumpliendo el límite. Comparando con la norma promedio anual, establecida en 50 ug/m³, el promedio obtenido de 33,3 ug/m³ estuvo por debajo del límite y representó un 67% de la norma anual.

Las concentraciones de PST en el Punto P1 estuvieron entre 26,8 ug/m³ y 98,8 ug/m³ que se consideran bajas o normales. Comparando con la norma diaria establecida en 300 ug/m³, se encontraron todas cumpliendo el límite. El promedio obtenido fue 53,1 ug/m³ y estuvo por debajo del límite promedio anual establecido en 100 ug/m³.

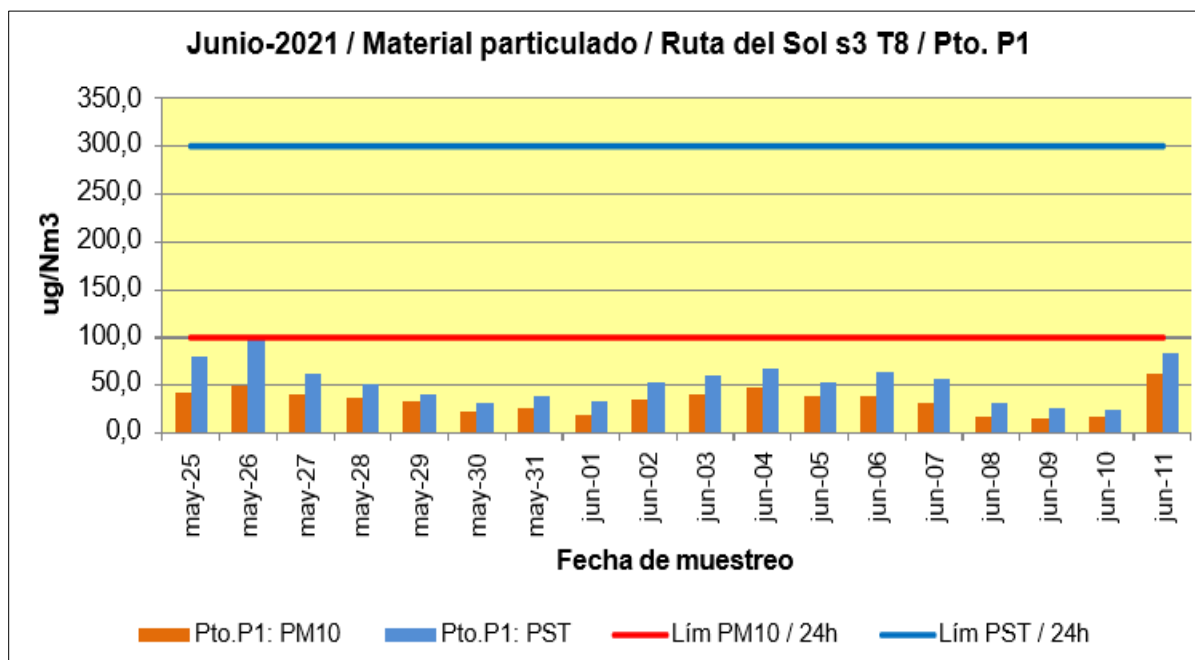
Lo anterior indica que con los valores obtenidos, los promedios anuales de PM10 y PST en el Punto P1 se pueden mantener por debajo de sus correspondientes límites.

Factores de material particulado: En este punto se observó paso de vehículos por la vía existente (punto ubicado a aprox. 40 m de distancia) y poca resuspensión o erosión por el viento desde áreas destapadas, además de algunas lluvias que contribuyen a humedecer las superficies.

Nota: En este punto P1 debido a imponderables fallas prolongadas de energía eléctrica, las muestras 1.21 y 1.18 no cumplieron con el tiempo mínimo establecido en 1380 minutos de muestreo (mostrado en color rojo en la Tabla 12), por lo tanto se descartaron para el cálculo de promedios, máximos, mínimos e ICA.

Gráfica 2.

Comportamiento diario y normas para material particulado, Punto P1



Fuente. Autores (2022)

Tabla 12.

Punto P1, Resultados monitoreo material particulado, jun-2021

MTRA N°	FILTRO N°	FECHA de toma (fin) aa.mm.dd	tiempo min	P ₀ /Pa	T°C prom	Qa Leido	QSTD	V _{TOTAL} Nm ³	PESO, g		CONC. PM10 μ g/Nm ³	
						m ³ /min			INICIO	FIN		
PM10 - P1: Caracolí						VFC:	8188	P _{bar} =mm	750			
1.1	3281	21.05.25	1383	0,958	31,7	1,184	1,142	1579,75	4,3705	4,4362	41,6	
1.2	3282	21.05.26	1385	0,957	29,6	1,219	1,145	1586,44	4,3685	4,4484	50,4	
1.3	3283	21.05.27	1400	0,958	27,9	1,217	1,150	1609,79	4,3665	4,4306	39,8	
1.4	3284	21.05.28	1438	0,957	29,4	1,218	1,144	1645,30	4,3559	4,4161	36,6	
1.5	3285	21.05.29	1396	0,957	28,8	1,218	1,147	1600,56	4,3449	4,3984	33,4	
1.6	3286	21.05.30	1424	0,959	29,6	1,182	1,148	1635,32	4,3329	4,3685	21,8	
1.7	3287	21.05.31	1386	0,958	30,1	1,181	1,145	1587,42	4,3753	4,4163	25,8	
1.8	3288	21.06.01	1382	0,958	30,9	1,183	1,144	1580,56	4,3660	4,3949	18,3	
1.9	3289	21.06.02	1425	0,957	31,4	1,181	1,140	1624,92	4,3670	4,4248	35,6	
1.10	3290	21.06.03	1392	0,958	32,1	1,184	1,141	1587,88	4,3730	4,4378	40,8	
1.11	3291	21.06.04	1408	0,957	32,4	1,183	1,139	1603,36	4,3721	4,4483	47,5	
1.12	3292	21.06.05	1434	0,957	31,8	1,183	1,141	1635,71	4,3772	4,4402	38,5	
1.13	3293	21.06.06	1419	0,958	30,5	1,181	1,144	1622,98	4,3682	4,4296	37,8	
1.14	3294	21.06.07	1421	0,958	28,3	1,217	1,148	1627,41	4,3677	4,4197	32,0	
1.15	3295	21.06.08	1381	0,958	25,9	1,214	1,154	1594,35	4,3595	4,3872	21,4	
1.16	3296	21.06.09	1384	0,958	27,6	1,217	1,151	1592,26	4,3545	4,3796	15,8	
1.17	3297	21.06.10	370	0,959	30,6	1,184	1,146	423,48	4,3497	4,3571	21,5	
1.18	3298	21.06.11	62	0,958	31,0	1,183	1,143	71,34	4,3703	4,3747	61,7	
								15,8	50,4	31,5	33,3	
								mínimo	máximo	promedio geométrico	promedio aritmético	
PST - P1: Caracolí						VFC:	8047	P _{bar} =mm Hg	750			PST μ g/Nm ³
1.1	8598	21.05.25	1383	0,962	31,7	1,192	1,150	1590,43	2,7299	2,8574	80,2	
1.2	8599	21.05.26	1385	0,961	29,6	1,187	1,153	1597,21	2,7100	2,8678	98,8	
1.3	8600	21.05.27	1400	0,961	27,9	1,183	1,155	1621,99	2,6789	2,7795	62,2	
1.4	8601	21.05.28	1438	0,962	29,4	1,187	1,153	1657,88	2,7091	2,7938	51,1	
1.5	8602	21.05.29	1396	0,962	28,8	1,187	1,156	1612,80	2,7278	2,7932	40,6	
1.6	8603	21.05.30	1424	0,962	29,6	1,188	1,154	1643,62	2,7240	2,7748	30,9	
1.7	8604	21.05.31	1386	0,961	30,1	1,187	1,151	1595,48	2,7310	2,7924	38,5	
1.8	8605	21.06.01	1382	0,961	30,9	1,189	1,150	1588,58	2,7205	2,7732	33,2	
1.9	8606	21.06.02	1425	0,962	31,4	1,190	1,149	1637,30	2,7206	2,8070	52,8	
1.10	8607	21.06.03	1392	0,961	32,1	1,190	1,147	1595,93	2,7216	2,8216	60,2	
1.11	8608	21.06.04	1408	0,961	32,4	1,190	1,145	1612,85	2,7363	2,8462	68,1	
1.12	8609	21.06.05	1434	0,961	31,8	1,190	1,147	1645,39	2,6951	2,7832	53,5	
1.13	8610	21.06.06	1419	0,961	30,5	1,187	1,150	1631,23	2,7121	2,8149	63,0	
1.14	8611	21.06.07	1421	0,961	28,3	1,183	1,154	1635,71	2,7264	2,8201	57,3	
1.15	8612	21.06.08	1381	0,962	25,9	1,181	1,161	1603,86	2,7136	2,7647	31,9	
1.16	8613	21.06.09	1384	0,962	27,6	1,185	1,159	1603,08	2,7215	2,7605	26,8	
1.21	8614	21.06.10	370	0,962	30,6	1,190	1,152	425,81	2,6970	2,7075	24,7	
1.18	8615	21.06.11	62	0,960	31,0	1,188	1,148	71,64	2,6912	2,6972	83,7	
								26,8	98,8	49,8	53,1	
								mínimo	máximo	promedio geométrico	promedio aritmético	

Fuente. Autores (2022)

En el Punto P2 de monitoreo (Mariangola) las partículas PM10 estuvieron entre 22,2 ug/m³ y 67,5 ug/m³, se consideran valores bajos a medianos. En comparación con la norma para concentración diaria establecida en 100 ug/m³, todas se encontraron cumpliendo el límite.

Comparando con la norma promedio anual, establecida en 50 ug/m^3 , el promedio obtenido de $49,6 \text{ ug/m}^3$ estuvo casi en el límite y representó un 99% de esta norma.

Las concentraciones de PST en el Punto P2 se encontraron entre $33,5 \text{ ug/m}^3$ y $164,4 \text{ ug/m}^3$ que se consideran bajas a medianas. Comparando con la norma diaria establecida en 300 ug/m^3 , estuvieron todas cumpliendo el límite. El promedio obtenido fue $98,0 \text{ ug/m}^3$, estuvo casi en el límite promedio anual establecido en 100 ug/m^3 .

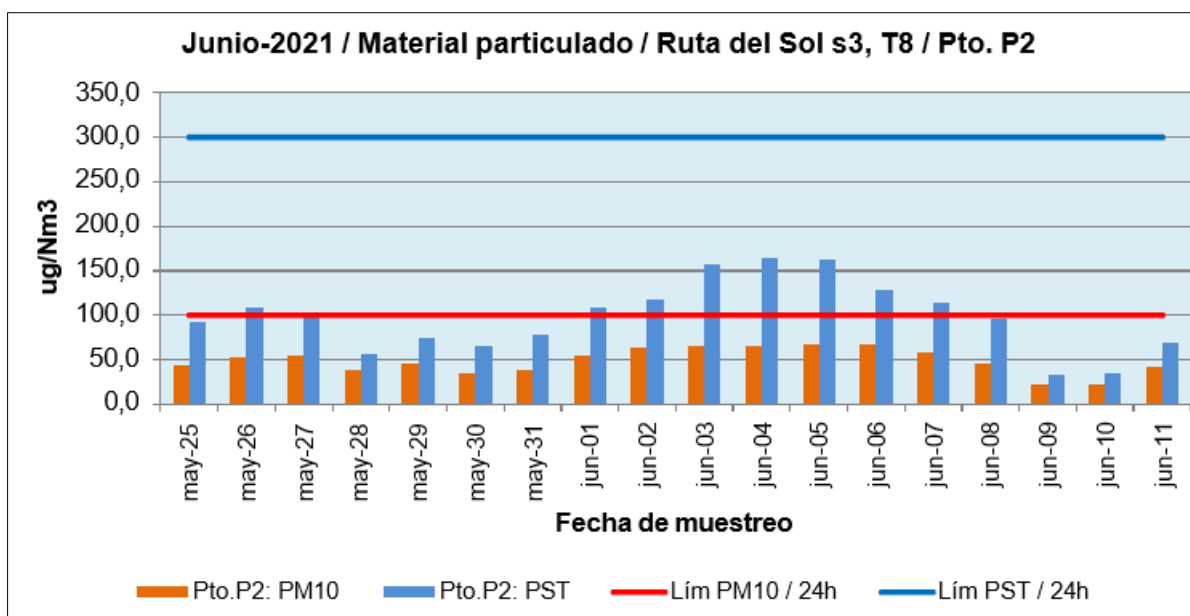
Lo anterior indica que con los valores obtenidos, los promedios anuales de PM10 y PST en el Punto P2 se pueden aproximar demasiado a sus correspondientes límites anuales.

Factores de material particulado: En este punto se observó paso constante de vehículos por la vía existente (punto ubicado a aprox. 35 m de distancia), resuspensión por el viento desde áreas destapadas y escasas lluvias durante los días de monitoreo (2 días).

Nota: En este punto P2 debido a una imponderable falla prolongada de energía eléctrica, la muestra 2.15 no cumplió con el tiempo mínimo establecido en 1380 minutos de muestreo (mostrado en color rojo en la Tabla 13), por lo tanto se descartó para el cálculo de promedios, máximos, mínimos e ICA. Sin embargo, se observa que no se salió significativamente de la tendencia del resto de muestras.

Gráfica 3.

Comportamiento diario y normas para material particulado, Punto P2



Fuente. Autores (2022)

Tabla 13.

Punto P2, Resultados monitoreo material particulado, jun-2021

MTRA N°	FILTRO N°	FECHA de toma (fin) aa.mm.dd	tiempo min	P ₀ /Pa	T°C prom	Qa Leído m ³ /min	QSTD m ³ /min	V _{TOTAL} Nm ³	PESO, g		CONC. PM10 μg/Nm ³
									INICIO	FIN	
PM10 - P2: Mariangola						VFC: 7825	P _{bar} =mm	750			
2.1	3300	21.05.25	1430	0,958	31,7	1,182	1,141	1631,50	4,3775	4,4507	44,9
2.2	3301	21.05.26	1429	0,957	29,6	1,217	1,143	1634,19	4,2981	4,3857	53,6
2.3	3302	21.05.27	1393	0,956	27,9	1,212	1,145	1595,06	4,2978	4,3848	54,5
2.4	3303	21.05.28	1430	0,957	29,4	1,215	1,142	1633,95	4,3161	4,3800	39,1
2.5	3304	21.05.29	1424	0,957	28,8	1,214	1,144	1628,41	4,2793	4,3530	45,3
2.6	3305	21.05.30	1393	0,956	29,6	1,216	1,143	1591,74	4,2877	4,3447	35,8
2.7	3306	21.05.31	1380	0,956	30,1	1,216	1,141	1574,21	4,3022	4,3635	38,9
2.8	3307	21.06.01	1424	0,957	30,9	1,219	1,140	1624,13	4,2881	4,3777	55,2
2.9	3308	21.06.02	1381	0,957	31,4	1,218	1,137	1570,65	4,2923	4,3932	64,2
2.10	3309	21.06.03	1382	0,956	32,1	1,219	1,136	1570,62	4,2772	4,3804	65,7
2.11	3310	21.06.04	1405	0,956	32,4	1,219	1,135	1594,21	4,2755	4,3810	66,2
2.12	3311	21.06.05	1422	0,956	31,8	1,219	1,137	1616,90	4,2742	4,3821	66,7
2.13	3312	21.06.06	1414	0,956	30,5	1,216	1,139	1611,00	4,2776	4,3864	67,5
2.14	3313	21.06.07	1383	0,957	28,3	1,213	1,145	1583,09	4,2920	4,3844	58,4
2.15	3314	21.06.08	1226	0,956	25,9	1,169	1,150	1409,26	4,2989	4,3644	46,5
2.16	3315	21.06.09	1405	0,958	27,6	1,215	1,149	1614,04	4,3021	4,3380	22,2
2.17	3316	21.06.10	1423	0,957	30,6	1,219	1,141	1623,46	4,2722	4,3089	22,6
2.18	3321	21.06.11	1414	0,958	31,0	1,180	1,141	1613,82	4,2970	4,3651	42,2

								22,2	67,5	47,1	49,6
								mínimo	máximo	promedio geométrico	promedio aritmético
PST - P2: Mariangola						VFC: 7785	$P_{bar} = mm$ Hg 750				PST $\mu g/Nm^3$
2.1	8621	21.05.25	1430	0,961	31,7	1,185	1,143	1635,64	2,7026	2,8532	92,1
2.2	8618	21.05.26	1429	0,961	29,6	1,181	1,147	1639,74	2,7148	2,8925	108,4
2.3	8619	21.05.27	1393	0,962	27,9	1,219	1,152	1604,59	2,7304	2,8876	98,0
2.4	8620	21.05.28	1430	0,962	29,4	1,181	1,148	1642,29	2,7058	2,7997	57,2
2.5	8621	21.05.29	1424	0,962	28,8	1,181	1,151	1638,12	2,7187	2,8409	74,6
2.6	8622	21.05.30	1393	0,961	29,6	1,181	1,147	1598,50	2,6809	2,7854	65,4
2.7	8623	21.05.31	1380	0,961	30,1	1,181	1,146	1580,90	2,7190	2,8437	78,9
2.8	8624	21.06.01	1424	0,961	30,9	1,183	1,145	1630,33	2,6822	2,8582	108,0
2.9	8625	21.06.02	1381	0,961	31,4	1,183	1,142	1577,99	2,6998	2,8856	121,7
2.10	8626	21.06.03	1382	0,961	32,1	1,185	1,142	1578,62	2,6959	2,9453	158,0
2.11	8627	21.06.04	1405	0,961	32,4	1,185	1,141	1602,33	2,6774	2,9409	164,4
2.12	8628	21.06.05	1422	0,959	31,8	1,182	1,140	1621,01	2,7070	2,9711	162,9
2.13	8629	21.06.06	1414	0,961	30,5	1,181	1,144	1621,85	2,7217	2,9251	128,2
2.14	8630	21.06.07	1383	0,961	28,3	1,218	1,150	1589,84	2,7029	2,8838	113,8
2.15	8631	21.06.08	1226	0,962	25,9	1,216	1,157	1421,70	2,6982	2,8354	96,8
2.16	8632	21.06.09	1405	0,962	27,6	1,219	1,153	1619,54	2,6878	2,7420	33,5
2.17	8633	21.06.10	1423	0,961	30,6	1,183	1,146	1629,66	2,7087	2,7663	35,3
2.18	8634	21.06.11	1414	0,962	31,0	1,185	1,146	1619,98	2,7329	2,8459	69,8
								33,5	164,4	89,0	98,0
								mínimo	máximo	promedio geométrico	promedio aritmético

Fuente. Autores (2022)

En el Punto P3 de monitoreo (Aguas Blancas) se obtuvieron concentraciones de PM10 entre 21,1 $\mu g/m^3$ y 52,4 $\mu g/m^3$, estas se consideran bajas o normales. En comparación con la norma para concentración diaria establecida en 100 $\mu g/m^3$, todas se encontraron cumpliendo el límite. Al comparar con la norma promedio anual, establecida en 50 $\mu g/m^3$, el promedio obtenido de 38,3 $\mu g/m^3$ estuvo por debajo del límite y representó un 77% de la norma anual.

El material PST del Punto P3 presentó valores entre 24,7 $\mu g/m^3$ y 75,6 $\mu g/m^3$ que se consideran bajos o normales. Comparando con la norma diaria establecida en 300 $\mu g/m^3$, se encontraron todas las muestras cumpliendo el límite. El promedio obtenido fue 54,9 $\mu g/m^3$ y estuvo por debajo del límite promedio anual establecido en 100 $\mu g/m^3$.

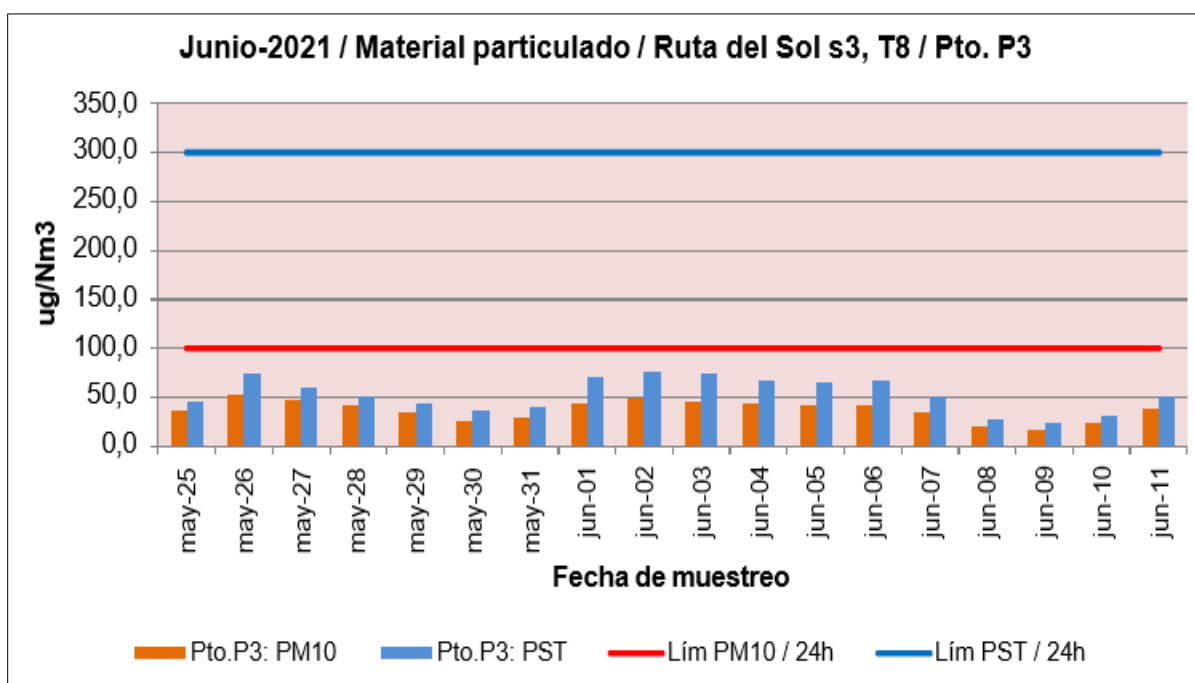
Lo anterior indica que con los valores obtenidos, los promedios anuales de PM10 y PST en el Punto P3 se pueden mantener por debajo de sus correspondientes límites anuales, aunque en PM10 se alcanzó más del 75% de la norma.

Factores de material particulado: En este punto se observó paso constante de vehículos por la vía existente (punto ubicado a aprox. 40 m de distancia) y alguna resuspensión por el viento desde áreas destapadas.

Nota: En este punto P3 debido a imponderables fallas prolongadas de energía eléctrica, las muestras 3.14 y 3.15 no cumplieron con el tiempo mínimo establecido en 1380 minutos de muestreo (mostrado en color rojo en la Tabla 14), por lo tanto se descartaron para el cálculo de promedios, máximos, mínimos e ICA.

Gráfica 4.

Comportamiento diario y normas para material particulado, Punto P3



Fuente. Autores (2022)

Tabla 14.

Punto P3, Resultados monitoreo material particulado, jun-2021

MTRA N°	FILTRO N°	FECHA de toma (fin) aa.mm.dd	tiempo min	P ₀ /Pa	T°C prom	Qa Leído	QSTD m ³ /min	V _{TOTAL} Nm ³	PESO, g		CONC. PM10 μg/Nm ³	
						m ³ /min			INICIO	FIN		
PM10 - P3: Aguas Blancas						VFC:	8319	P _{bar} =mm	751			
3.1	3319	21.05.25	1445	0,956	31,7	1,180	1,141	1648,06	4,2783	4,3400	37,4	
3.2	3320	21.05.26	1431	0,956	29,6	1,217	1,145	1639,16	4,2836	4,3695	52,4	
3.3	3321	21.05.27	1406	0,956	27,9	1,214	1,149	1615,10	4,2873	4,3625	46,6	
3.4	3322	21.05.28	1410	0,956	29,4	1,216	1,145	1614,20	4,2855	4,3534	42,1	
3.5	3323	21.05.29	1426	0,956	28,8	1,216	1,147	1635,46	4,2725	4,3285	34,2	
3.6	3324	21.05.30	1403	0,956	29,6	1,217	1,146	1606,92	4,2679	4,3106	26,6	
3.7	3325	21.05.31	1398	0,956	30,1	1,217	1,144	1598,93	4,2592	4,3058	29,1	
3.8	3326	21.06.01	1397	0,955	30,9	1,218	1,142	1594,82	4,2528	4,3219	43,3	
3.9	3327	21.06.02	1423	0,955	31,4	1,218	1,140	1621,30	4,2974	4,3776	49,5	
3.10	3328	21.06.03	1391	0,955	32,1	1,180	1,139	1584,32	4,2855	4,3568	45,0	
3.11	3329	21.06.04	1405	0,955	32,4	1,180	1,138	1599,08	4,2765	4,3476	44,5	
3.12	3330	21.06.05	1421	0,956	31,8	1,181	1,141	1621,15	4,2716	4,3390	41,6	
3.13	3331	21.06.06	1421	0,956	30,5	1,217	1,142	1621,98	4,2833	4,3521	42,5	
3.14	3332	21.06.07	1197	0,957	28,3	1,215	1,149	1374,96	4,2946	4,3418	34,3	
3.15	3333	21.06.08	1269	0,957	25,9	1,212	1,155	1465,27	4,2780	4,3066	19,5	
3.16	3334	21.06.09	1400	0,958	27,6	1,217	1,153	1614,82	4,2782	4,3058	21,1	
3.17	3335	21.06.10	1420	0,958	30,6	1,182	1,147	1628,43	4,2808	4,3184	23,1	
3.18	3336	21.06.11	1397	0,957	31,0	1,181	1,144	1597,48	4,2807	4,3419	38,3	
								21,1	52,4	36,9	38,3	
								mínimo	máximo	promedio geométrico	promedio aritmético	
PST - P3: Aguas Blancas						VFC:	7094	P _{bar} =mm Hg	751			PST μg/Nm ³
3.1	8636	21.05.25	1445	0,961	31,7	1,182	1,143	1650,85	2,6864	2,7609	45,1	
3.2	8637	21.05.26	1431	0,960	29,6	1,218	1,146	1640,55	2,7089	2,8303	74,0	
3.3	8638	21.05.27	1406	0,962	27,9	1,216	1,151	1621,85	2,7073	2,8040	59,8	
3.4	8639	21.05.28	1410	0,960	29,4	1,215	1,144	1613,51	2,7040	2,7863	51,0	
3.5	8640	21.05.29	1426	0,960	28,8	1,215	1,147	1634,76	2,7192	2,7911	44,0	
3.6	8641	21.05.30	1403	0,960	29,6	1,217	1,146	1606,92	2,7054	2,7652	37,2	
3.7	8642	21.05.31	1398	0,960	30,1	1,217	1,144	1598,93	2,7149	2,7792	40,2	
3.8	8643	21.06.01	1397	0,959	30,9	1,218	1,141	1594,14	2,7113	2,8242	70,8	
3.9	8644	21.06.02	1423	0,960	31,4	1,219	1,140	1621,98	2,6838	2,8065	75,6	
3.10	8645	21.06.03	1391	0,960	32,1	1,180	1,139	1584,32	2,7128	2,8310	74,6	
3.11	8646	21.06.04	1405	0,959	32,4	1,219	1,137	1597,73	2,7120	2,8192	67,1	
3.12	8647	21.06.05	1421	0,959	31,8	1,219	1,139	1618,40	2,7160	2,8213	65,1	
3.13	8648	21.06.06	1421	0,960	30,5	1,217	1,142	1621,98	2,6959	2,8040	66,8	
3.14	8649	21.06.07	1197	0,960	28,3	1,213	1,147	1372,62	2,7042	2,7740	50,9	
3.15	8650	21.06.08	1269	0,959	25,9	1,169	1,152	1461,52	2,7124	2,7536	28,2	
3.16	8651	21.06.09	1400	0,960	27,6	1,213	1,149	1609,33	2,7199	2,7596	24,7	
3.17	8652	21.06.10	1420	0,960	30,6	1,219	1,143	1623,60	2,7150	2,7666	31,8	
3.18	8653	21.06.11	1397	0,960	31,0	1,219	1,142	1594,77	2,7240	2,8040	50,2	
								24,7	75,6	52,2	54,9	
								mínimo	máximo	promedio geométrico	promedio aritmético	

Fuente. Autores (2022)

En el Punto P4 de monitoreo (Valledupar Cra.21xCll.40) se obtuvieron concentraciones de PM10 entre $41,6 \text{ ug/m}^3$ y $65,2 \text{ ug/m}^3$, se consideran valores medianos. En comparación con la norma diaria de 100 ug/m^3 , todos los valores fueron menores al límite. Comparando con la norma promedio anual de 50 ug/m^3 , el promedio obtenido $53,9 \text{ ug/m}^3$ superó el límite, encontrándose en 8% por encima de la norma anual.

Las concentraciones de PST en el Punto P4 estuvieron entre $70,5 \text{ ug/m}^3$ y $135,6 \text{ ug/m}^3$ se consideran valores bajos a medianos. Comparando con la norma diaria de 300 ug/m^3 , todas se encontraron cumpliendo el límite. El promedio obtenido de $108,0 \text{ ug/m}^3$ superó el límite promedio anual establecido en 100 ug/m^3 (también 8% por encima).

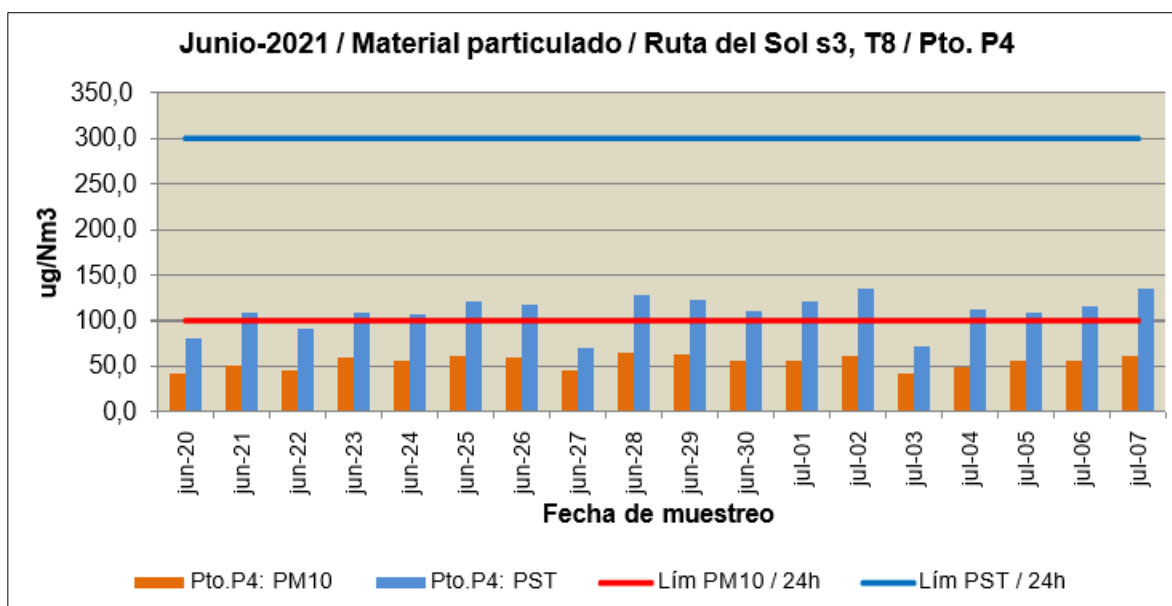
Lo anterior indica que con los valores obtenidos, los promedios anuales de PM10 y PST en el Punto P4 pueden sobrepasar sus correspondientes límites anuales, aprox. de un 5 a 10% por encima.

Factores de material particulado: En este punto se observó principalmente paso ocasional de vehículos por las calles cercanas, pero con una polución significativa transportada por el viento desde otras calles o avenidas de la ciudad. También se observó resuspensión desde las calles o áreas destapadas.

Nota: En este punto P4 debido a imponderables fallas prolongadas de energía eléctrica, las muestras 4.6 y 4.7 no cumplieron con el tiempo mínimo establecido en 1380 minutos de muestreo (mostrado en color rojo en la Tabla 15), por lo tanto se descartaron para el cálculo de promedios, máximos, mínimos e ICA, aunque se observa que no se salieron significativamente de la tendencia de las demás muestras.

Gráfica 5.

Comportamiento diario y normas para material particulado, Punto P4



Fuente. Autores (2022)

Tabla 15.

Punto P4, Resultados monitoreo material particulado, jun-2021

MTRA N°	FILTRO N°	FECHA de toma (fin) aa.mm.dd	tiempo min	P ₀ /Pa	T°C prom	Qa Leido	QSTD m ³ /min	V _{TOTAL} Nm ³	PESO, g		CONC. PM10 μg/Nm ³
						m ³ /min			INICIO	FIN	
PM10 - P4: Valledupar Cra 21 x Cll 40						VFC: P8046	Pbar =mm	746			
4.1	3566	21.06.20	1418	0,958	30,7	1,183	1,139	1615,50	4,2521	4,3190	41,7
4.2	3567	21.06.21	1458	0,957	33,0	1,185	1,133	1651,61	4,3005	4,3832	50,1
4.3	3568	21.06.22	1445	0,957	33,6	1,186	1,132	1635,52	4,2767	4,3509	45,4
4.4	3569	21.06.23	1416	0,958	30,2	1,181	1,140	1614,06	4,2830	4,3794	59,7
4.5	3570	21.06.24	1419	0,957	32,5	1,185	1,135	1610,06	4,2766	4,3670	56,1
4.6	3571	21.06.25	1100	0,958	31,2	1,183	1,138	1251,10	4,2756	4,3531	61,9
4.7	3572	21.06.26	1136	0,958	33,2	1,186	1,133	1287,55	4,2686	4,3455	59,7
4.8	3573	21.06.27	1421	0,957	33,8	1,186	1,131	1607,30	4,2675	4,3402	45,2
4.9	3574	21.06.28	1392	0,957	30,6	1,181	1,138	1584,61	4,2767	4,3800	65,2
4.10	3575	21.06.29	1451	0,957	33,6	1,186	1,132	1642,31	4,2579	4,3624	63,6
4.11	3576	21.06.30	1394	0,958	30,2	1,181	1,140	1588,75	4,2704	4,3606	56,8
4.12	3577	21.07.01	1382	0,958	32,5	1,186	1,136	1569,21	4,2781	4,3647	55,2
4.13	3578	21.07.02	1412	0,957	31,2	1,181	1,136	1603,98	4,2767	4,3750	61,3
4.14	3579	21.07.03	1426	0,957	33,6	1,186	1,132	1614,46	4,2756	4,3428	41,6
4.15	3580	21.07.04	1445	0,957	30,2	1,219	1,138	1644,10	4,2843	4,3641	48,5
4.16	3581	21.07.05	1430	0,958	32,5	1,186	1,136	1623,68	4,2642	4,3556	56,3
4.17	3582	21.07.06	1433	0,957	31,2	1,181	1,136	1627,84	4,2633	4,3535	55,4
4.18	3583	21.07.07	1426	0,958	33,7	1,187	1,133	1615,30	4,2647	4,3625	60,5

								41,6	65,2	53,4	53,9
								mínimo	máximo	promedio geométrico	promedio aritmético
PST - P4: Valledupar Cra 21 x Cll 40						VFC: P8048	Pbar =mm	746			PST $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$
4.1	9093	21.06.20	1418	0,959	30,7	1,186	1,142	1619,60	2,7075	2,8376	80,3
4.2	9094	21.06.21	1458	0,959	33,0	1,189	1,137	1657,88	2,7235	2,9035	108,6
4.3	9095	21.06.22	1445	0,961	33,6	1,193	1,139	1645,21	2,7183	2,8693	91,8
4.4	9096	21.06.23	1416	0,960	30,2	1,185	1,144	1619,53	2,7123	2,8893	109,3
4.5	9097	21.06.24	1419	0,960	32,5	1,191	1,140	1618,21	2,6977	2,8700	106,5
4.6	9098	21.06.25	1100	0,961	31,2	1,188	1,143	1256,92	2,7125	2,8647	121,1
4.7	9099	21.06.26	1136	0,961	33,2	1,192	1,139	1294,06	2,7066	2,8590	121,8
4.8	9100	21.06.27	1421	0,960	33,8	1,192	1,137	1615,43	2,6984	2,8123	70,5
4.9	9101	21.06.28	1392	0,959	30,6	1,186	1,143	1590,65	2,6886	2,8913	127,4
4.10	9102	21.06.29	1451	0,960	33,6	1,192	1,138	1650,62	2,7105	2,9128	122,6
4.11	9103	21.06.30	1394	0,959	30,2	1,184	1,143	1592,79	2,7237	2,8999	110,6
4.12	9104	21.07.01	1382	0,959	32,5	1,189	1,139	1573,81	2,6980	2,8891	121,4
4.13	9105	21.07.02	1412	0,959	31,2	1,186	1,140	1610,09	2,7015	2,9219	134,4
4.14	9106	21.07.03	1426	0,960	33,6	1,192	1,138	1622,63	2,7100	2,8258	71,4
4.15	9107	21.07.04	1445	0,961	30,2	1,186	1,145	1653,86	2,7067	2,8923	112,2
4.16	9108	21.07.05	1430	0,959	32,5	1,189	1,139	1628,48	2,7243	2,9025	109,4
4.17	9109	21.07.06	1433	0,960	31,2	1,187	1,142	1636,11	2,7065	2,8960	115,8
4.18	9110	21.07.07	1426	0,960	33,7	1,192	1,137	1622,10	2,7292	2,9491	135,6
								70,5	135,6	106,0	108,0
								mínimo	máximo	promedio geométrico	promedio aritmético

Fuente. Autores (2022)

Resultados SO₂ y NO₂

Los datos y resultados del monitoreo de óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno se relacionan en la Tabla 16 a la Tabla 20. Las muestras se tomaron paralelamente en las mismas fechas y horas que las de material particulado.

Los símbolos y abreviaturas usadas en la Tabla 16 a la Tabla 20 son los siguientes:

ID = Número de identificación de la muestra

t = Tiempo total de muestreo, debe estar entre 1380 y 1500, min Qstd = Flujo estándar de muestreo, mL/min

Conc. Rep. LAB = Concentración de analito en sln absorbente, resultado del laboratorio, ug/mL ug SO₂ = Microgramos totales de SO₂ en la muestra, ugNO₂ = Microgramos totales de NO₂ en la muestra, ug

C SO₂ = Concentración de SO₂ en el aire (resultado del muestreo), ugSO₂/Nm³ C NO₂ =
Concentración de NO₂ en el aire (resultado del muestreo), ugNO₂/Nm³

Las tendencias diarias y la comparación con las normas, se representan en la Gráfica 6 a la Gráfica 10.

En general se puede observar que se obtuvieron en cada punto de monitoreo muchas de las muestras tomadas por debajo del límite de detección de cada método.

El número de muestras obtenidas con resultado menor a 1,4 ug/m³ de SO₂ en el aire fueron: 8 muestras en A1, 7 muestras en P1, 8 en P2 y 6 en P3.

El número de muestras obtenidas con resultado menor a 1,0 ug/m³ de NO₂ en el aire fueron: 5 muestras en A1, 4 muestras en los puntos P1 y P3; 6 muestras en P2 y 5 muestras en P4.

Los máximos valores obtenidos para estos parámetros fueron:

En el punto A1: SO₂ máximo 19,1 ug/m³ y NO_x máximo 12,4 ug/m³. En el punto P1: SO₂ máximo 11,4 ug/m³ y NO_x máximo 6,8 ug/m³. En el punto P2: SO₂ máximo 13,1 ug/m³ y NO_x máximo 7,2 ug/m³. En el punto P3: SO₂ máximo 13,2 ug/m³ y NO_x máximo 7,0 ug/m³. En el punto P4: SO₂ máximo 21,1 ug/m³ y NO_x máximo 12,2 ug/m³

Comparando con los límites aplicables, todos los resultados de SO₂ estuvieron por debajo del límite permisible diario de 250 ug/m³ y promedio de 80 ug/m³.

Todos los resultados de NO₂ estuvieron por debajo del límite permisible diario de 150 ug/m³ y promedio de 100 ug/m³.

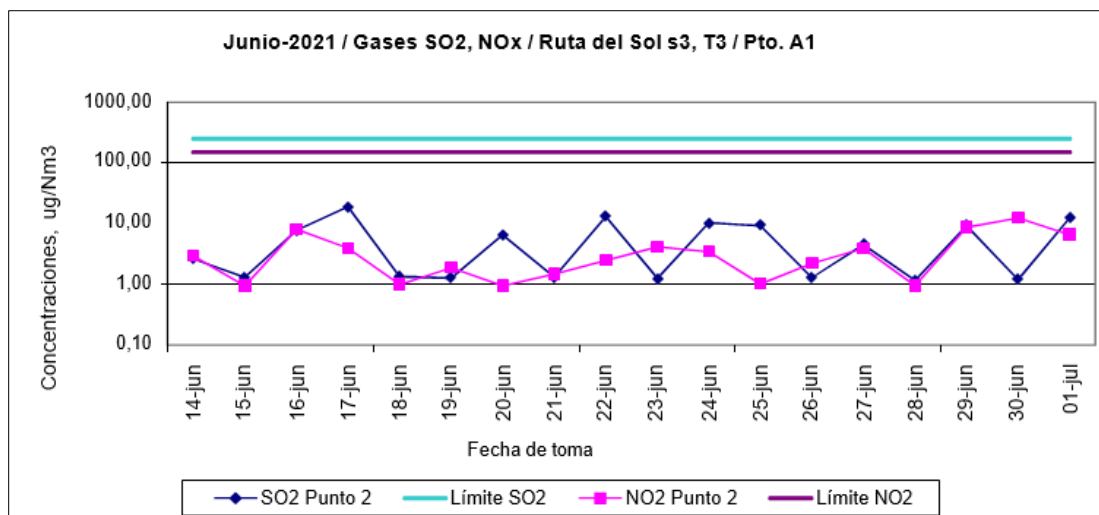
Tabla 16.

Punto A1, resultados monitoreo de SO₂ y NO₂, jun-2021

MUESTREO			ÓXIDOS DE AZUFRE			ÓXIDOS DE NITRÓGENO		
# ID.	fecha final (A.M.D)	t, min	Rep. LAB., ug SO2	Q std prom, mL/min	C SO2 en el aire, ugSO2/Nm ³	Rep. LAB., ug NO2	Q std prom, mL/min	C NO2 en el aire, ugNO2/Nm ³
2.1	21.06.14	1413	0,67	181	2,63	0,75	219	2,96
2.2	21.06.15	1384	< 0,35	193	< 1,31	< 0,25	189	< 0,96
2.3	21.06.16	1385	2,09	193	7,80	2,02	180	8,09
2.4	21.06.21	1385	4,85	184	19,07	0,98	218	3,98
2.5	21.06.18	1382	< 0,35	188	< 1,35	< 0,25	181	< 1,00
2.6	21.06.19	1440	< 0,35	190	< 1,28	0,49	219	1,90
2.7	21.06.20	1415	1,77	189	6,61	< 0,25	186	< 0,95
2.8	21.06.21	1415	< 0,35	187	< 1,32	0,38	180	1,49
2.9	21.06.22	1418	3,54	192	13,03	0,66	185	2,51
2.10	21.06.23	1459	< 0,35	190	< 1,26	1,09	180	4,16
2.11	21.06.24	1267	2,47	189	10,30	0,78	217	3,47
2.12	21.06.25	1409	2,49	190	9,31	< 0,25	213	< 1,02
2.13	21.06.26	1385	< 0,35	194	< 1,30	0,56	181	2,23
2.14	21.06.27	1397	1,20	189	4,55	0,98	219	3,92
2.15	21.06.28	1458	< 0,35	205	< 1,21	< 0,25	219	< 0,96
2.16	21.06.29	1421	2,62	198	9,32	2,25	180	8,80
2.17	21.06.30	1421	< 0,35	206	< 1,20	3,09	215	12,43
2.18	21.07.01	1387	3,41	197	12,45	1,67	182	6,62
			< 1,21	19,1	< 5,59	< 0,95	12,4	< 3,76
			mínimo	máximo	promedio	mínimo	máximo	promedio

Fuente. Autores (2022)

Gráfica 6.

Punto A1 Comportamiento diario de SO₂ y NO₂

Fuente. Autores (2022)

Tabla 17.

Punto P1, resultados monitoreo de SO₂ y NO₂, jun-2021

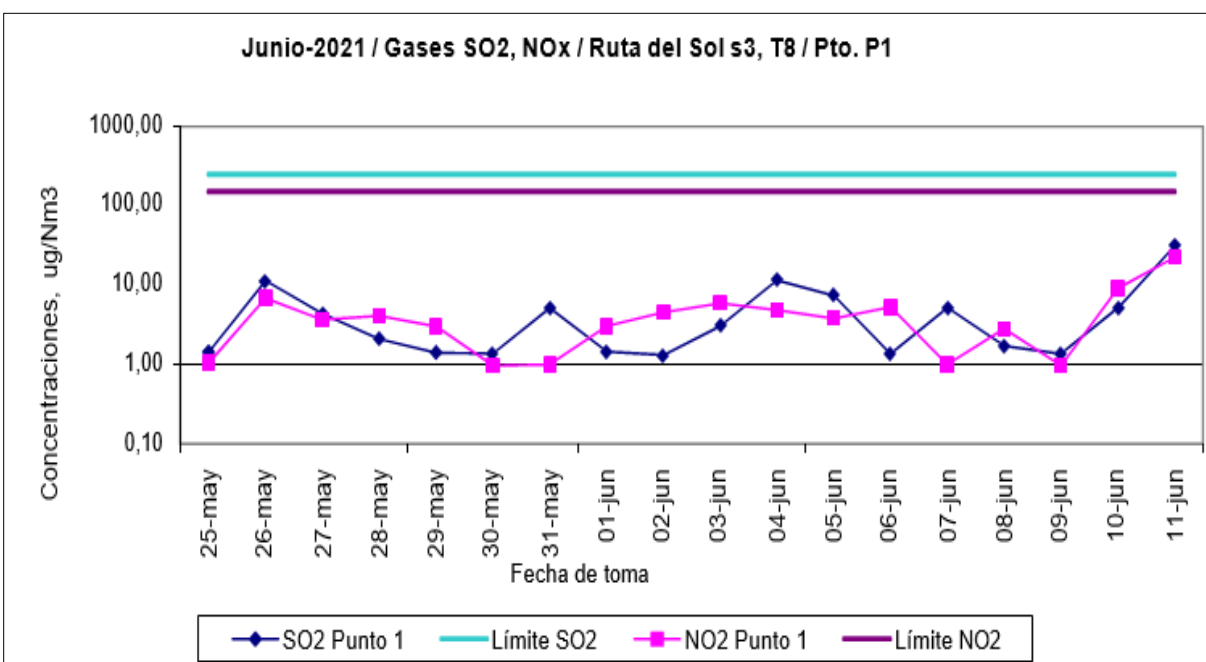
MUESTREO			ÓXIDOS DE AZUFRE			ÓXIDOS DE NITRÓGENO		
# ID.	fecha final (A.M.D)	t, min	Rep. LAB., ug SO ₂	Q std prom, mL/min	C SO ₂ en el aire, ugSO ₂ /Nm ³	Rep. LAB., ug NO ₂	Q std prom, mL/min	C NO ₂ en el aire, ugNO ₂ /Nm ³
1.1	21.05.25	1383	< 0,35	218	< 1,42	< 0,25	213	1,05
1.2	21.05.26	1385	2,78	218	11,30	1,64	215	6,78
1.3	21.05.27	1400	1,12	185	4,32	0,95	185	3,65
1.4	21.05.28	1438	0,56	187	2,08	1,09	185	4,10
1.5	21.05.29	1396	< 0,35	219	< 1,40	0,76	183	2,98
1.6	21.05.30	1424	< 0,35	180	< 1,37	< 0,25	181	< 0,97
1.7	21.05.31	1386	1,30	184	5,10	< 0,25	182	< 0,99
1.8	21.06.01	1382	< 0,35	216	< 1,44	0,74	217	3,02
1.9	21.06.02	1425	< 0,35	189	< 1,30	1,18	185	4,50
1.10	21.06.03	1392	0,79	188	3,02	1,51	184	5,89
1.11	21.06.04	1408	2,98	186	11,41	1,23	182	4,80
1.12	21.06.05	1434	1,93	184	7,31	1,00	183	3,79
1.13	21.06.06	1419	< 0,35	183	< 1,35	1,32	218	5,24
1.14	21.06.07	1421	1,25	212	5,13	< 0,25	218	< 0,99
1.15	21.06.08	1381	0,44	187	1,70	0,71	184	2,80
1.16	21.06.09	1384	< 0,35	187	< 1,35	< 0,25	187	< 0,97

MUESTREO			ÓXIDOS DE AZUFRE			ÓXIDOS DENITRÓGENO		
# ID.	fecha final (A.M.D)	t, min	Rep. LAB., ug SO2	Q std prom, mL/min	C SO2 en el aire, ugSO2/Nm ³	Rep. LAB., ug NO2	Q std prom, mL/min	C NO2 en el aire, ugNO2/Nm ³
1.21	21.06.10	370	< 0,35	186	< 5,10	0,62	185	9,08
1.18	21.06.11	62	< 0,35	181	< 31,05	< 0,25	180	< 22,23
			< 1,30	11,4	< 3,81	< 0,97	6,8	< 3,28
			mínimo	máximo	promedio	mínimo	máximo	promedio

Fuente. Autores (2022)

Gráfica 7.

Punto P1 Comportamiento diario de SO₂ y NO₂



Fuente. Autores (2022)

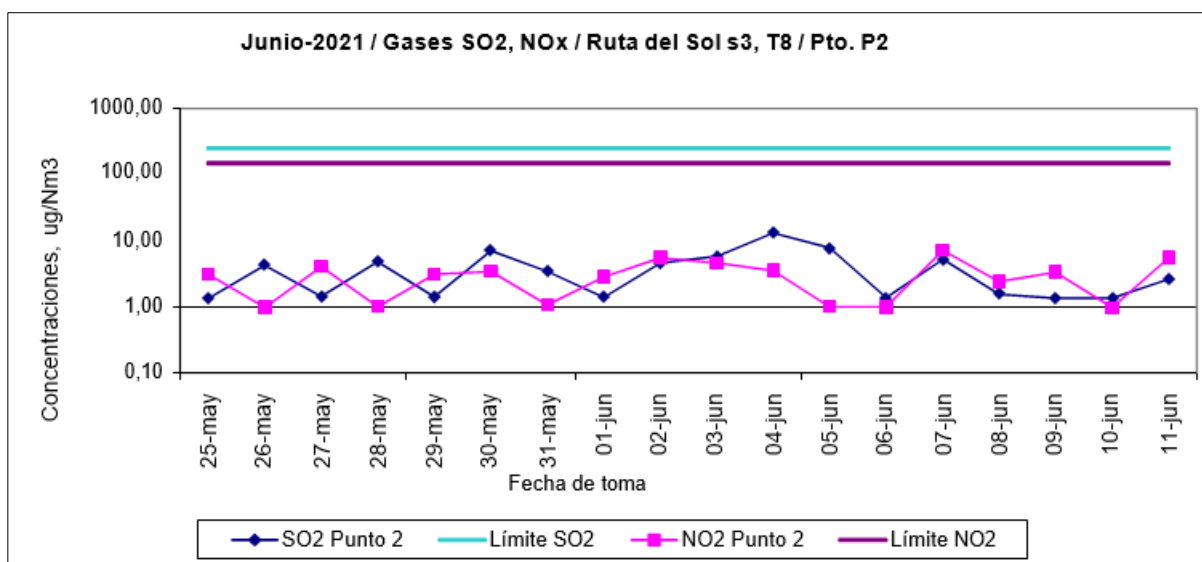
Tabla 18.

Punto P2, resultados monitoreo de SO₂ y NO₂, jun-2021

MUESTREO			ÓXIDOS DE AZUFRE			ÓXIDOS DE NITRÓGENO		
# ID.	fecha final (A.M.D)	t, min	Rep. LAB., ug SO ₂	Q std prom, mL/min	C SO ₂ en el aire, ugSO ₂ /Nm ³	Rep. LAB., ug NO ₂	Q std prom, mL/min	C NO ₂ en el aire, ugNO ₂ /Nm ³
2.1	21.05.25	1430	< 0,35	183	< 1,33	0,81	181	3,11
2.2	21.05.26	1429	1,09	180	4,24	< 0,25	218	< 0,98
2.3	21.05.27	1393	< 0,35	215	< 1,44	0,97	212	4,05
2.4	21.05.28	1430	1,23	219	4,78	< 0,25	213	< 1,01
2.5	21.05.29	1424	< 0,35	213	< 1,42	0,76	211	3,12
2.6	21.05.30	1393	1,74	217	7,07	0,83	213	3,44
2.7	21.05.31	1380	0,86	182	3,43	< 0,25	210	< 1,07
2.8	21.06.01	1424	< 0,35	217	< 1,39	0,71	216	2,84
2.9	21.06.02	1381	1,15	181	4,61	1,37	219	5,53
2.10	21.06.03	1382	1,46	181	5,83	1,14	219	4,60
2.11	21.06.04	1405	3,25	216	13,14	0,87	215	3,53
2.12	21.06.05	1422	< 1,96	217	7,78	< 0,25	216	< 1,00
2.13	21.06.06	1414	< 0,35	219	< 1,38	< 0,25	217	< 1,00
2.14	21.06.07	1383	1,32	183	5,22	1,72	214	7,15
2.15	21.06.08	1226	< 0,35	183	< 1,56	0,54	182	2,42
2.16	21.06.09	1405	< 0,35	185	< 1,35	0,85	181	3,33
2.17	21.06.10	1423	< 0,35	182	< 1,35	< 0,25	219	< 0,98
2.18	21.06.11	1414	0,67	180	2,63	1,40	218	5,55
			< 1,33	13,1	< 4,02	< 0,98	7,2	< 3,08
			mínimo	máximo	promedio	mínimo	máximo	promedio

Fuente. Autores (2022)

Gráfica 8.

Punto P2 Comportamiento diario de SO₂ y NO₂

Fuente. Autores (2022)

Tabla 19.

Punto P3, resultados monitoreo de SO₂ y NO₂, jun-2021

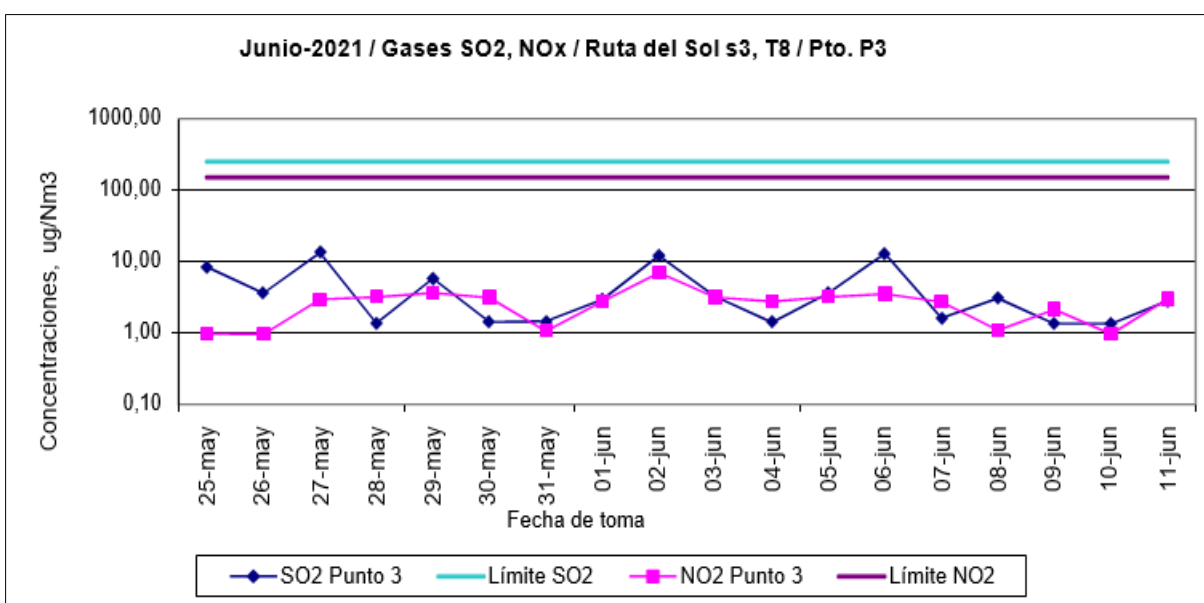
MUESTREO			ÓXIDOS DE AZUFRE			ÓXIDOS DENITRÓGENO		
# ID.	fecha final (A.M.D)	t, min	Rep. LAB., ug SO ₂	Q std prom, mL/min	C SO ₂ en el aire, ugSO ₂ /Nm ³	Rep. LAB., ug NO ₂	Q std prom, mL/min	C NO ₂ en el aire, ugNO ₂ /Nm ³
3.1	21.05.25	1445	2,18	180	8,37	< 0,25	217	< 0,98
3.2	21.05.26	1431	0,93	180	3,61	< 0,25	180	< 0,97
3.3	21.05.27	1406	3,43	185	13,22	0,76	182	2,96
3.4	21.05.28	1410	< 0,35	182	< 1,37	0,81	219	3,20
3.5	21.05.29	1426	1,45	216	5,76	0,90	213	3,65
3.6	21.05.30	1403	< 0,35	215	< 1,42	0,76	213	3,13
3.7	21.05.31	1398	< 0,35	211	< 1,46	< 0,25	167	< 1,07
3.8	21.06.01	1397	0,71	213	2,94	0,67	211	2,78
3.9	21.06.02	1423	2,99	214	12,08	1,71	212	7,01
3.10	21.06.03	1391	0,78	215	3,22	0,76	213	3,16
3.11	21.06.04	1405	0,35	218	1,40	0,69	216	2,79
3.12	21.06.05	1421	0,93	180	3,64	0,81	218	3,20
3.13	21.06.06	1421	3,28	180	12,88	0,90	180	3,53
3.14	21.06.07	1197	< 0,35	180	< 1,63	0,57	216	2,72
3.15	21.06.08	1269	0,71	182	3,07	< 0,25	180	< 1,10

MUESTREO			ÓXIDOS DE AZUFRE			ÓXIDOS DENITRÓGENO		
# ID.	fecha final (A.M.D)	t, min	Rep. LAB., ug SO2	Q std prom, mL/min	C SO2 en el aire, ugSO2/Nm ³	Rep. LAB., ug NO2	Q std prom, mL/min	C NO2 en el aire, ugNO2/Nm ³
3.16	21.06.09	1400	< 0,35	187	< 1,34	0,55	183	2,16
3.17	21.06.10	1420	< 0,35	183	< 1,34	< 0,25	182	< 0,97
3.18	21.06.11	1397	0,71	181	2,81	0,76	180	3,01
			< 1,34	13,2	< 4,80	< 0,97	7,0	< 2,78
			mínimo	máximo	promedio	mínimo	máximo	promedio

Fuente. Autores (2022)

Gráfica 9.

Punto P3 Comportamiento diario de SO₂ y NO₂



Fuente. Autores (2022)

Tabla 20.

Punto P4, resultados monitoreo de SO₂ y NO₂, jun-2021

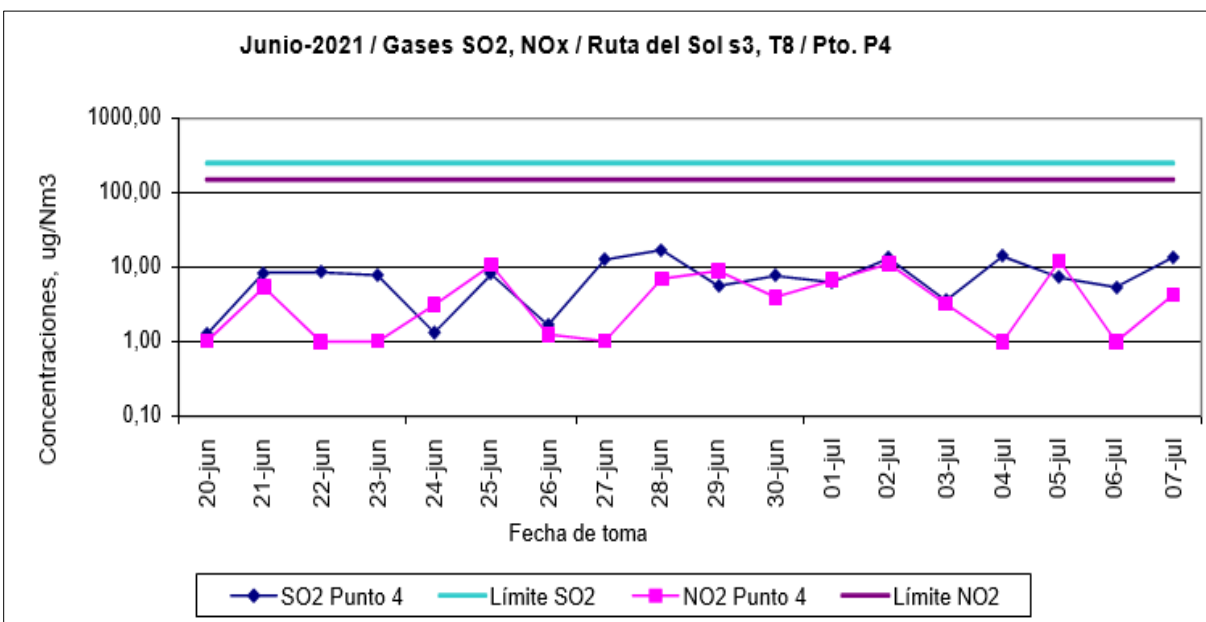
MUESTREO			ÓXIDOS DE AZUFRE			ÓXIDOS DENITRÓGENO		
# ID.	fecha final (A.M.D)	t, min	Rep. LAB., ug SO2	Q std prom, mL/min	C SO2 en el aire, ugSO2/Nm ³	Rep. LAB., ug NO2	Q std prom, mL/min	C NO2 en el aire, ugNO2/Nm ³
4.1	21.06.20	1418	0,35	195	1,27	0,25	212	1,02
4.2	21.06.21	1458	2,34	190	8,45	1,36	213	5,40
4.3	21.06.22	1445	2,35	190	8,59	< 0,25	214	< 0,99
4.4	21.06.23	1416	2,08	188	7,82	< 0,25	215	< 1,01
4.5	21.06.24	1419	< 0,35	186	< 1,32	0,78	215	3,14

MUESTREO			ÓXIDOS DE AZUFRE			ÓXIDOS DENITRÓGENO		
# ID.	fecha final (A.M.D)	t, min	Rep. LAB., ug SO2	Q std prom, mL/min	C SO2 en el aire, ugSO2/Nm3	Rep. LAB., ug NO2	Q std prom, mL/min	C NO2 en el aire, ugNO2/Nm3
4.6	21.06.25	1100	1,64	185	8,03	2,04	214	10,69
4.7	21.06.26	1136	< 0,35	185	< 1,67	< 0,25	216	< 1,25
4.8	21.06.27	1421	3,35	185	12,75	< 0,25	212	< 1,03
4.9	21.06.28	1392	4,48	188	21,14	1,69	213	7,01
4.10	21.06.29	1451	1,50	186	5,59	2,25	214	8,92
4.11	21.06.30	1394	1,97	185	7,61	0,95	212	3,97
4.12	21.07.01	1382	1,70	195	6,32	1,66	218	6,74
4.13	21.07.02	1412	3,45	186	13,16	2,69	211	11,12
4.14	21.07.03	1426	0,96	188	3,57	0,78	211	3,20
4.15	21.07.04	1445	3,78	188	13,91	< 0,25	214	< 0,99
4.16	21.07.05	1430	1,98	190	7,29	3,05	215	12,20
4.17	21.07.06	1433	1,42	185	5,38	< 0,25	214	< 1,00
4.18	21.07.07	1426	3,59	185	13,63	1,03	210	4,24
			< 1,27	21,1	< 8,36	< 0,99	12,2	< 4,50
			mínimo	máximo	promedio	mínimo	máximo	promedio

Fuente. Autores (2022)

Gráfica 10.

Punto P4 Comportamiento diario de SO₂ y NO₂



Fuente. Autores (2022)

Resultados monóxido de carbono

En la Tabla 21 se presentan los resultados del monóxido de carbono en los puntos de monitoreo en el tramos 8. Para estas mediciones se encontraron la gran mayoría de lecturas por debajo del límite de detección del equipo de medición empleado (< 0,4 ppm CO en el aire). Solo 9 de las 126 lecturas registraron valores detectables entre 0,48 y 0,61 ppm, lo que se atribuye a emisiones ocasionales de motores durante arranque o detención. Todos los resultados estuvieron muy por debajo del límite establecido en 40 ppm según la Resolución 610/2010, cumpliendo el CO ampliamente con la norma aplicable.

Tabla 21.

Resultados promedio de CO en los puntos evaluados, jun-2021

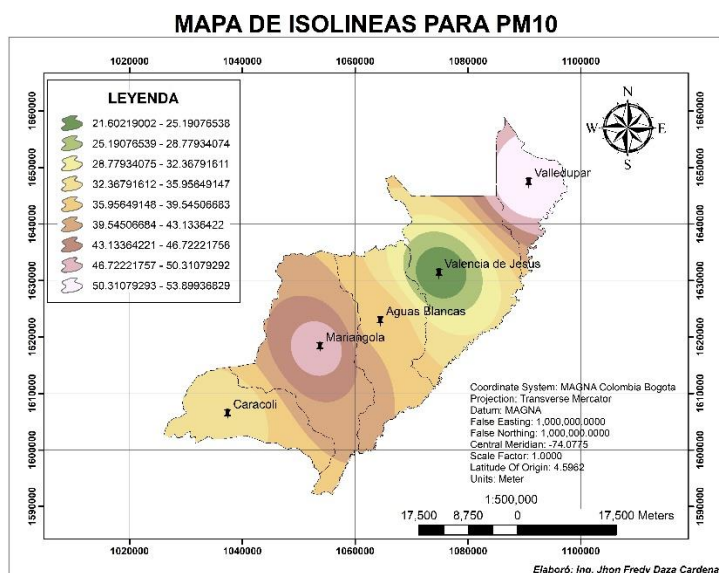
Concentración CO, ppm							
fecha de toma (A-M-D)	A1: Caracolicito	fecha de toma (A-M-D)	P1: Caracolí	P2: Mariangola	P3: Aguas Blancas	fecha de toma (A-M-D)	P4: Valledupar
Analizador # ACO-01							
21-06-14	< 0,4	21-05-25	< 0,4	< 0,4	< 0,4	21-06-20	< 0,4
21-06-15	< 0,4	21-05-26	< 0,4	< 0,4	< 0,4	21-06-21	< 0,4
21-06-16	< 0,4	21-05-27	< 0,4	< 0,4	0,48	21-06-22	< 0,4
21-06-17	< 0,4	21-05-28	< 0,4	< 0,4	< 0,4	21-06-23	0,61
21-06-18	< 0,4	21-05-29	< 0,4	< 0,4	< 0,4	21-06-24	0,53
21-06-19	< 0,4	21-05-30	< 0,4	0,49	< 0,4	21-06-25	< 0,4
21-06-20	< 0,4	21-05-31	< 0,4	< 0,4	< 0,4	21-06-26	< 0,4
21-06-21	< 0,4	21-06-01	< 0,4	< 0,4	< 0,4	21-06-27	< 0,4
21-06-22	< 0,4	21-06-02	< 0,4	< 0,4	< 0,4	21-06-28	< 0,4
21-06-23	< 0,4	21-06-03	< 0,4	< 0,4	< 0,4	21-06-29	< 0,4
21-06-24	< 0,4	21-06-04	< 0,4	< 0,4	< 0,4	21-06-30	< 0,4
21-06-25	< 0,4	21-06-05	< 0,4	0,51	< 0,4	21-07-01	< 0,4
21-06-26	< 0,4	21-06-06	< 0,4	< 0,4	0,52	21-07-02	< 0,4
21-06-27	< 0,4	21-06-07	< 0,4	< 0,4	< 0,4	21-07-03	< 0,4
21-06-28	< 0,4	21-06-08	< 0,4	< 0,4	< 0,4	21-07-04	< 0,4
21-06-29	< 0,4	21-06-09	< 0,4	< 0,4	< 0,4	21-07-05	0,57
21-06-30	< 0,4	21-06-10	< 0,4	< 0,4	< 0,4	21-07-06	< 0,4
21-07-01	< 0,4	21-06-11	< 0,4	< 0,4	< 0,4	21-07-07	< 0,4

Fuente. Autores (2022)

7.1.1 Mapas de isolineas

Figura 3.

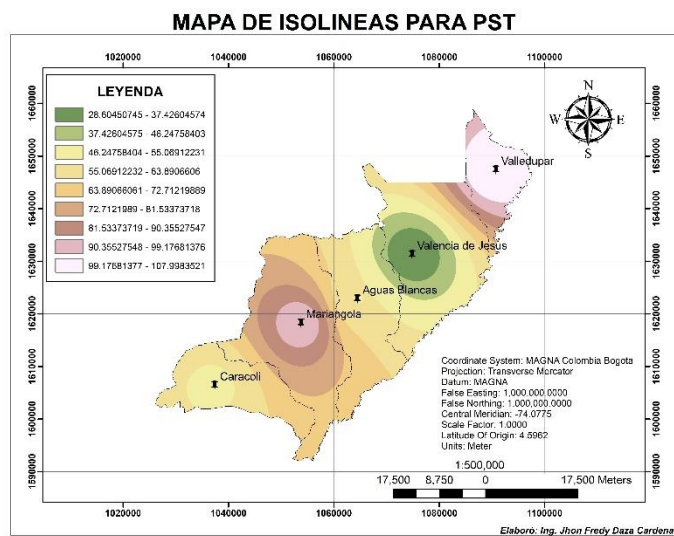
Mapa de isolineas para PM10



Fuente. Autores (2022)

Figura 4.

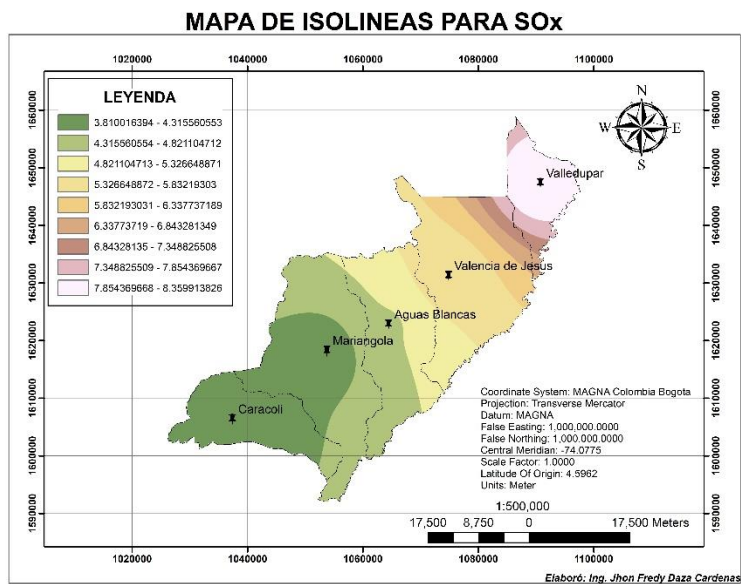
Mapa de isolineas para PST



Fuente. Autores (2022)

Figura 5.

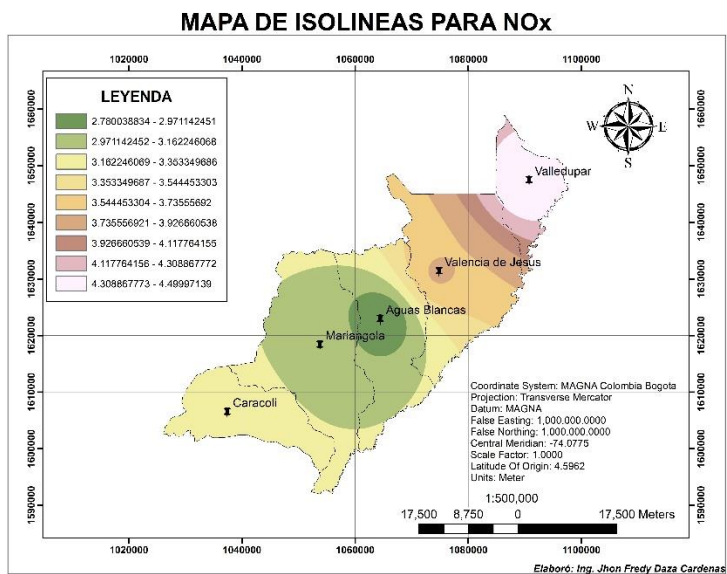
Mapa de isolineas para SOx



Fuente. Autores (2022)

Figura 6.

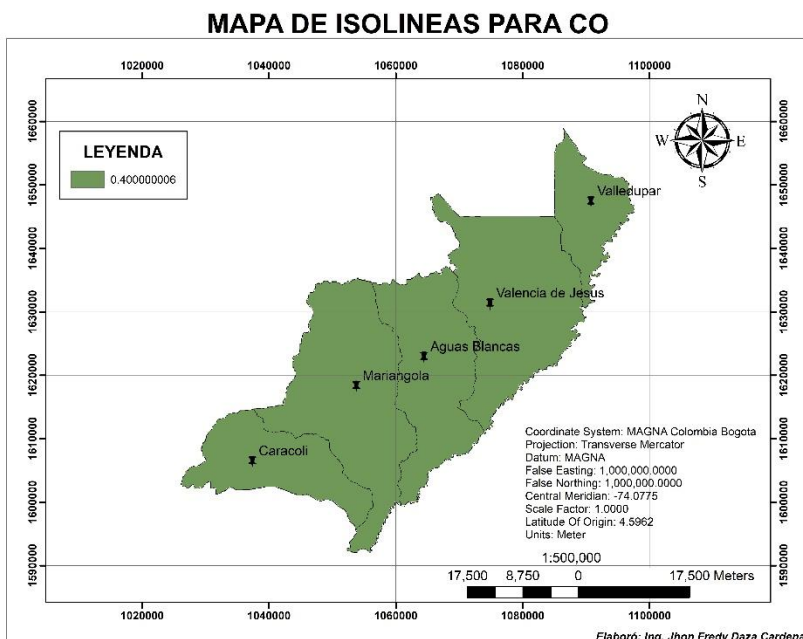
Mapa de isolineas para NOx



Fuente. Autores (2022)

Figura 7.

Mapa de isoclinas para CO



Fuente. Autores (2022)

7.2 Comparar las concentraciones de los contaminantes obtenidos con los límites permisibles para calidad del aire bajo la Resolución 2254 de 2017 y determinar el nivel de cumplimiento actual.

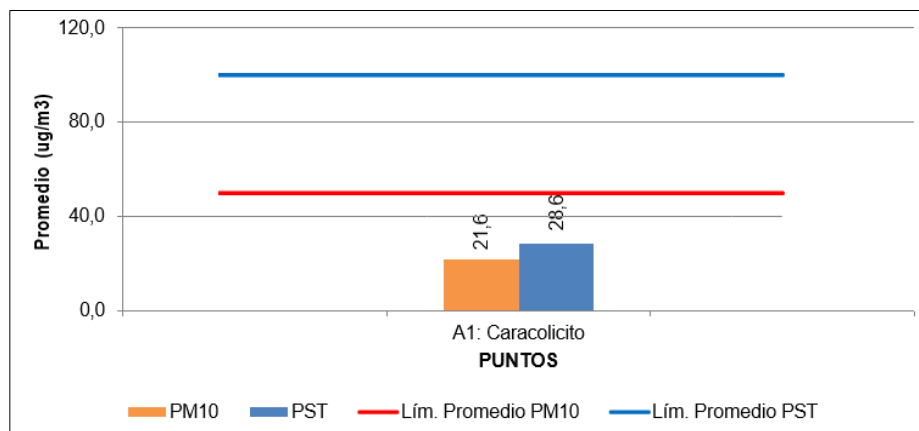
Se realizó comparación con la Resolución 2254 de 2017, con el fin de determinar el cumplimiento de los valores máximos permisibles. En las Gráficas 11 y 12 se presenta un resumen de promedios de material particulado en los puntos evaluados en zona del proyecto Ruta del Sol sector III, tramo 8, en junio de 2021.

Se aprecia que la gran mayoría de promedios de PM10 fueron menores a 50 ug/m³ y la gran mayoría de promedios de PST menores a 100 ug/m³, con la excepción del punto P4 (Valledupar) donde estuvieron 8% por encima. Otro punto con valores altos fue el P2 (Mariangola), cuyos promedios representaron el 99% de la norma de PM10 y el 98% de PST.

Mientras tanto, el punto con el promedio más bajo fue A1 (Valencia de Jesús). Es de destacar que la mayoría de los valores se encuentran por debajo de los valores permitidos por la Norma (Resolución 2254 de 2017)

Gráfica 11.

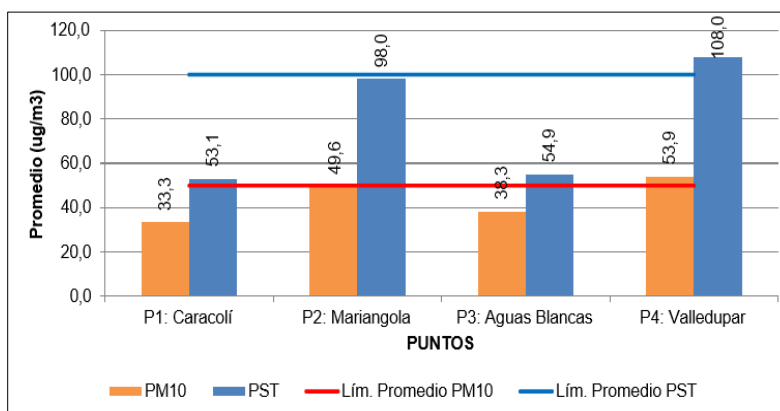
Resumen de promedios PM10 y PST, Ruta del Sol sector III, Punto A1.



Fuente. Autores (2022)

Gráfica 12.

Resumen de promedios PM10 y PST, Ruta del Sol sector III, Puntos P1, P2, P3 y P4.



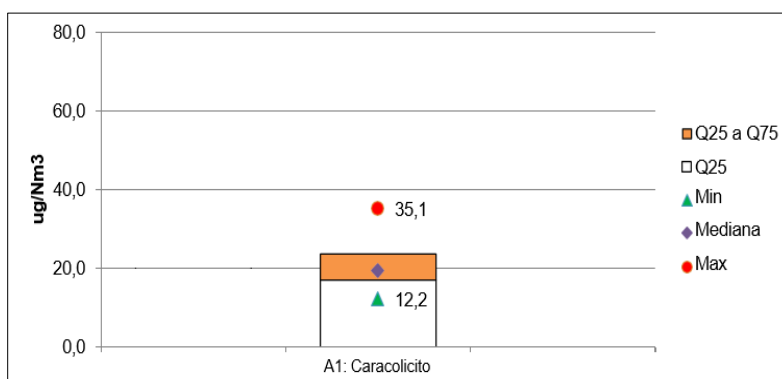
Fuente. Autores (2022)

En las Gráficas 13 y 14 se representa el análisis de dispersión y tendencia de PM10 en los puntos evaluados en el tramo 8. Se aprecia en general los valores muy variados que se obtuvieron,

siendo los más altos y dispersos en los puntos P2 y P4 y los más bajos y menor dispersión en A1. En los otros puntos no se encontraron extremos altos ni bajos, se pueden considerar valores relativamente agrupados, lo que indica que pueden ser estables en los rangos encontrados y condiciones monitoreadas.

Gráfica 13.

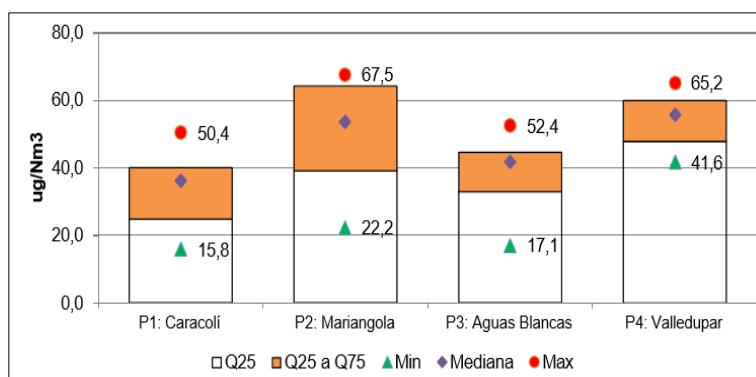
Dispersión de resultados PM10 en los puntos evaluados, Punto A1



Fuente. Autores (2022)

Gráfica 14.

Dispersión de resultados PM10 en los puntos evaluados, Punto P1, P2, P3 y P4



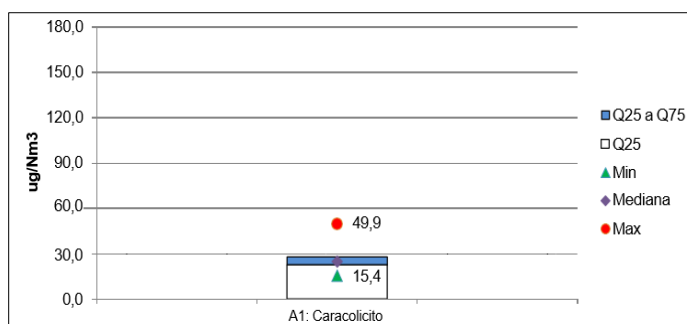
Fuente. Autores (2022)

En las Gráficas 15 y 16 se representa el análisis de dispersión y tendencia de PST en los puntos evaluados en el tramo 8. Se aprecia en general los valores muy variados que se obtuvieron,

siendo los más altos y dispersos en los puntos P2 y P4. Se presentaron valores extremos estadísticos, como: En A1 el máximo de $49,9 \text{ ug/m}^3$. Esto indica que en dichos puntos el PST puede presentar ocasionalmente valores fuera de tendencia. En los otros puntos no se encontraron extremos altos ni bajos, lo que indica que pueden ser estables en los rangos encontrados y condiciones monitoreadas.

Gráfica 15.

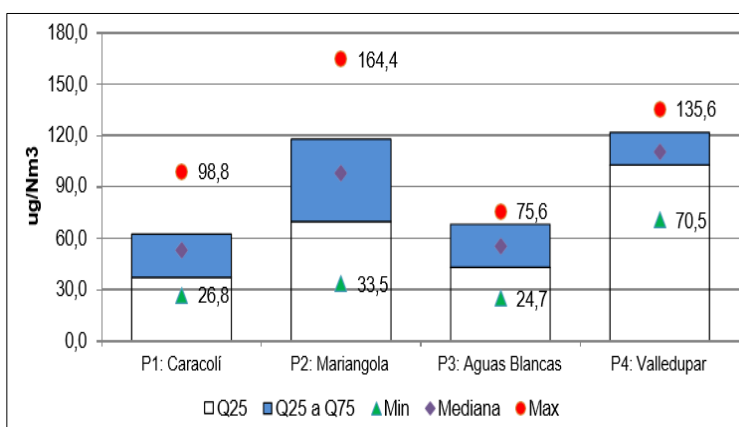
Dispersión de resultados PST en los puntos evaluados, Punto A1.



Fuente. Autores (2022)

Gráfica 16.

Dispersión de resultados PST en los puntos evaluados, Punto P1, P2, P3 y P4.



Fuente. Autores (2022)

7.3 Determinar los índices de calidad del aire ICA e interpretar sus valores en términos del riesgo para la salud de posibles receptores.

Con base en los resultados obtenidos para cada contaminante evaluado se calculan los Índices de Calidad del Aire, de acuerdo con el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire. La expresión utilizada es:

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo}$$

Donde:

I_p = Índice de Calidad para el contaminante p

C_p = Concentración resultante para el contaminante p BP_{Hi} = Punto de corte mayor o igual a C_p

BP_{Lo} = Punto de corte menor o igual a C_p I_{Hi} = Valor del ICA a BP_{Hi}

I_{Lo} = Valor del ICA a BP_{Lo}

Los puntos de corte que determinan los intervalos de concentraciones para la clasificación de la calidad del aire según los ICA, se encuentran en la Tabla 22.

Tabla 22.

Puntos de Corte y Clasificación de la Calidad del Aire según los ICA

ICA	Color	Clasificación	PM10 ug/Nm3	SO2 ppm
0 a 50	Verde	Buena	0 a 54	0 a 0,034
51 a 100	Amarillo	Moderada	55 a 154	0,035 a 0,144
101 a 150	Naranja	Dañina a la Salud de grupos sensibles	155 a 254	0,145 a 0,224
151 a 200	Rojo	Dañina a la Salud	255 a 354	0,225 a 0,304
201 a 300	Púrpura	Muy dañina a la Salud	355 a 424	0,305 a 0,604
301 a 400	Marrón	Peligrosa	425 a 504	0,605 a 0,804
401 a 500	Marrón	Peligrosa	505 a 604	0,805 a 1,004

Resolución 2254 de 2017

Después de calcular los índices individuales para los parámetros que representan puntajes ICA más altos, en este caso PM₁₀ y SO₂, el mayor valor se reporta como ICA diario.

En la Tabla 23 a la Tabla 27 se presentan los resultados de ICA. Se obtuvieron la totalidad de valores en los puntos A1, P1 y P3 en el intervalo de cero a 50 puntos (por convención color verde), que corresponde a Calidad del Aire Buena, sin efectos significativos sobre la salud respiratoria de posibles grupos receptores sensibles. Mientras tanto, en los puntos P2 y P4 se presentaron 8 y 10 valores, respectivamente, mayores a 50 puntos (entre 51 y 57) coincidiendo con los días de monitoreo más soleados y secos. Estos valores corresponden al intervalo de calidad del aire con efectos moderados a la salud respiratoria de los posibles grupos receptores sensibles (convención de color amarillo).

Tabla 23.

Índices de Calidad del Aire diarios en Valencia de Jesús

Muestra	Fecha	ICA	ICA	ICA Pto A1
	aa.mm.dd	PM10	SO2	
2.1	21.06.14	18	1	18
2.2	21.06.15	16	1	16
2.3	21.06.16	21	4	21
2.4	21.06.17	19	11	19
2.5	21.06.18	14	1	14
2.6	21.06.19	11	1	11
2.7	21.06.20	16	4	16
2.8	21.06.21	12	1	12
2.9	21.06.22	18	7	18
2.10	21.06.23	14	1	14
2.11	21.06.24	--	--	--
2.12	21.06.25	25	5	25
2.13	21.06.26	22	1	22
2.14	21.06.27	18	3	18
2.15	21.06.28	20	1	20
2.16	21.06.29	32	5	32
2.17	21.06.30	33	1	33
2.18	21.07.01	31	7	31

Fuente. Autores (2022)

Tabla 24.

Índices de Calidad del Aire diarios en Caracolí

Muestra	Fecha	ICA	ICA	ICA Pto P1
	aa.mm.dd	PM10	SO2	
1.1	21.05.25	39	1	39
1.2	21.05.26	47	6	47
1.3	21.05.27	37	2	37
1.4	21.05.28	34	1	34
1.5	21.05.29	31	1	31
1.6	21.05.30	20	1	20
1.7	21.05.31	24	3	24
1.8	21.06.01	21	1	21
1.9	21.06.02	33	1	33
1.10	21.06.03	38	2	38
1.11	21.06.04	44	6	44
1.12	21.06.05	36	4	36
1.13	21.06.06	35	1	35
1.14	21.06.07	30	3	30
1.15	21.06.08	16	1	16
1.16	21.06.09	15	1	15
1.17	21.06.10	--	--	--
1.18	21.06.11	--	--	--

Fuente. Autores (2022)

Tabla 25.

Índices de Calidad del Aire diarios en Mariangola

Muestra	Fecha	ICA	ICA	ICA
	aa.mm.dd	PM10	SO2	Pto P2
2.1	21.05.25	42	1	42
2.2	21.05.26	50	2	50
2.3	21.05.27	51	1	51
2.4	21.05.28	36	3	36
2.5	21.05.29	42	1	42
2.6	21.05.30	33	4	33
2.7	21.05.31	36	2	36
2.8	21.06.01	51	1	51
2.9	21.06.02	56	3	56
2.10	21.06.03	56	3	56
2.11	21.06.04	57	7	57
2.12	21.06.05	57	4	57
2.13	21.06.06	57	1	57
2.14	21.06.07	53	3	53
2.15	21.06.08	--	--	--
2.16	21.06.09	21	1	21
2.17	21.06.10	21	1	21
2.18	21.06.11	39	1	39

Fuente. Autores (2022)

Tabla 26.

Índices de Calidad del Aire diarios en Aguas Blancas

Muestra	Fecha	ICA	ICA	ICA
	aa.mm.dd	PM10	SO2	Pto P3
3.1	21.05.25	35	5	35
3.2	21.05.26	49	2	49
3.3	21.05.27	43	7	43
3.4	21.05.28	39	1	39
3.5	21.05.29	32	3	32
3.6	21.05.30	25	1	25
3.7	21.05.31	27	1	27
3.8	21.06.01	45	2	45
3.9	21.06.02	48	7	48
3.10	21.06.03	42	2	42
3.11	21.06.04	41	1	41
3.12	21.06.05	38	2	38
3.13	21.06.06	39	7	39
3.14	21.06.07	--	--	--
3.15	21.06.08	--	--	--
3.16	21.06.09	16	1	16
3.17	21.06.10	21	1	21
3.18	21.06.11	35	2	35

Fuente. Autores (2022)

Tabla 27.

Índices de Calidad del Aire diarios en Valledupar

Muestra	Fecha	ICA	ICA	ICA
	d-m-a	PM10	SO2	Pto P4
4.1	21.06.20	39	1	39
4.2	21.06.21	46	5	46
4.3	21.06.22	42	5	42
4.4	21.06.23	53	4	53
4.5	21.06.24	52	1	52
4.6	21.06.25	--	--	--
4.7	21.06.26	--	--	--
4.8	21.06.27	42	7	42
4.9	21.06.28	56	10	56
4.10	21.06.29	55	3	55
4.11	21.06.30	52	4	52
4.12	21.07.01	51	4	51
4.13	21.07.02	54	7	54
4.14	21.07.03	39	2	39
4.15	21.07.04	45	8	45
4.16	21.07.05	52	4	52
4.17	21.07.06	51	3	51
4.18	21.07.07	54	8	54

Fuente. Autores (2022)

7.4 Establecer medidas de manejo ambiental a partir del análisis de los resultados para los parámetros que excedan los valores máximos permisibles, bajo la resolución 2254 de 2017.

Teniendo como base todo el análisis realizado anteriormente, donde se desarrolló la determinación de los parámetros de PM10, PST, SO₂, NO₂ y CO. EN los 4 puntos dentro del Tramo 8, de la carretera Valledupar- Bosconia, para medir la afectación que podría estar causando las obras constructivas y actividades afines. Se pudo evidenciar que por medio de comparación con la Resolución 2254 de 2017, la afectación a la calidad de Aire es muy mínima, no obstante se plantean algunas medidas para ser consideradas dentro de la implementación y puesta en marcha de la construcción y mejoramiento de la vía de mejoramiento y existente.

- Cuando se haya construido un campamento temporal y en concreto, durante el proceso del desmantelamiento, se recomienda realizar un cerramiento con malla

polisombra de 2 metros de altura para prevenir la generación de material particulado a los predios aledaños.

- Exigencia del certificado de gases vigente para los vehículos de transporte de materiales.
- Sincronización y mantenimiento constante de los vehículos para reducir la emisión de gases.
- Los vehículos destinados al transporte de material fino serán carpados con el fin de evitar arrastre de partículas por acción del viento. La maquinaria que no se encuentre en operación debe apagarse con el fin de evitar la emisión de gases y partículas.
- No se podrá realizar quema de material sobrante, como empaques de cemento y otros residuos.
- Se realizará seguimiento permanente al componente atmosférico por medio de Monitoreos durante la operación de la planta de concretos, asfalto y/o triturados, la cual es la mayor fuente de emisión en la obra. Se realizará un monitoreo acorde a lo que estipule el acto administrativo que lo otorga y debe ser realizado por una firma certificada, la Interventoría debe conocer los requerimientos y hacerlos cumplir.
- En las vías desprovistas de capa de rodadura durante épocas de tiempo seco se deberá realizar humedecimiento periódico, por lo menos una vez en la mañana y una vez en la tarde, para evitar que por el paso constante de los vehículos y maquinaria se generen emisiones de polvo y partículas. Es totalmente prohibido el riego de aceite quemado para atenuar este efecto.

- Cuando el material de excavación pueda ser reutilizado, se almacenará temporalmente en un sitio definido con la interventoría pero deberá permanecer cubierto para evitar que sea arrasado por la acción del viento.

8. Conclusiones y Recomendaciones

8.1 Conclusiones

Se realizó el monitoreo de calidad del aire en zona de influencia de la autopista Ruta del Sol sector III, tramo 8, vía Bosconia-Valledupar, Cesar, en un total de 5 puntos de interés. Las muestras se tomaron en las siguientes fechas: del 25 de mayo al 11 de junio de 2021 (3 puntos en el tramo 8) y del 20 de junio al 7 de julio de 2021 (1 punto en el tramo 8).

La ubicación de los puntos para calidad del aire está en la Tabla 9 del informe. En la Tabla 28 se resumen los promedios obtenidos en los parámetros de calidad del aire.

Tabla 28.

Promedios en calidad del aire, junio-2021, tramos 8

PUNTO	PROMEDIOS en ug/m ³				CO (ppm en 1 hr)
	PM10	PST	SO ₂	NO _x	
A1: Valencia de Jesús	21,6	28,6	5,6	< 3,8	< 0,4
P1: Caracolí	33,3	53,1	< 3,8	< 3,3	< 0,4
P2: Mariangola	49,6	98,0	< 4,0	< 3,1	< 0,4
P3: Aguas Blancas	38,3	54,9	4,8	< 2,8	< 0,4
P4: Valledupar	53,9	108,0	8,4	< 4,5	< 0,4
Norma promedio anual	50	100	80	100	40 (1 hora)

Fuente. Autores (2022)

- En general, durante el presente monitoreo se obtuvieron concentraciones variadas de material particulado PM10 y PST, y concentraciones muy bajas para los parámetros SO₂, NO₂ y CO. Todos los resultados cumplieron con las normas aplicables tanto en valores diarios como promedios anuales, excepto PM10 y PST promedio en el punto P4 (Valledupar) con 53,9 ug/m³ de PM10 sobre la norma de 50 ug/m³ y 108,0 ug/m³ de PST sobre la norma de 100 ug/m³. En general, se considera que los resultados de MP fueron relativamente variados, excepto en el punto A1 con las

menores dispersiones de datos. Los valores más altos de MP en cada punto se atribuyen a tránsito permanente de vehículos y resuspensión desde áreas destapadas en días soleados y secos; mientras los más bajos coincidieron con algunas lluvias que se presentaron.

- En los índices de calidad del aire ICA obtenidos se encontró que todos los valores en los puntos A1, P1 y P3 estuvieron en el intervalo de cero a 50 puntos, lo que indica por convención una calidad del aire buena, sin efectos significativos sobre la salud respiratoria de posibles grupos receptores sensibles. Para los puntos P2 y P4 se presentaron 8 y 10 valores, respectivamente, entre 51 y 57 puntos, correspondiente al intervalo con efectos moderados sobre la salud de grupos sensibles.

8.2 Recomendaciones

Se espera que estos trabajos se sigan realizando en la Universidad Popular del Cesar, para obtener una trazabilidad de estas actividades que se realizan en la región. A su vez se recomienda que se varíen los puntos de monitoreo, que se tomen otras ubicaciones esto con el fin de obtener unos resultados más claros de lo que pueda estar aconteciendo en la realidad y que se reduzcan los márgenes de errores y aumente el grado de confiabilidad en los Monitoreos.

9. Referencias

- Barraza, C., & Sanchez, L. (2019). Evaluación de la concentración de material particulado PM10 en la región norte – centro histórico de la ciudad de Barranquilla. En U. d. ambiental. Barranquilla.
- Charres, I., & Gonzalez, D. (2008). Diagnóstico de la calidad del aire en la zona minera del Cesar. Especialización en gestión energética y ambiental. En U. d. Salle. Bogotá D.C.
- Cortez, J. (2013). Evaluación de la contaminación atmosférica en el aire ambiente de Manizales por COPs y PM10. En D. d. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Manizales, Colombia.
- Gonzalez, T. (2015). Determinación de la calidad del aire en la universidad libre seccional Bogotá sede bosque popular. En F. d. ambiental. Bogotá D.C.
- Mariño, J. (2007). *Reflexiones sobre el papel de la Ingeniería Civil en la*
- Metropol. (2009). *Manual de Gestión Socio-Ambiental para Obras de Construcción*. Medellín: La Empresa, pág 7.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). (Mayo de 2018). Obtenido de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Perdomo, T. (2014). *GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS ADECUADAS PRÁCTICAS EMPRESARIALES EN GESTIÓN AMBIENTAL RELACIONADA CON LAS OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL EN COLOMBIA*. Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, Maestría en Gestión Ambiental.
- POPELL, C., & DOCKEY, D. (1995). Health Effects of Particulate Air Pollution: ¿Time for Reassessment? Environmental Health Perspectives.

- ROJANO, R. (2017). Determinación del aporte de fuentes a la contaminación del aire por material particulado en el área minera del cerrejón (la guajira, Colombia) a través del modelo de receptor CMB. En U. d. Ambiental. Medellín.
- SILVA, V. (2010). Contaminación del aire por material particulado (PM10 Y PM2.5). Bogotá D.C: Observatorio Urbano de León.
- Vivas, G. (2018). Propuesta metodológica para el estudio de cambios en la calidad del aire mediante análisis multitemporal, en las estaciones de recolección y tratamiento de crudo acacias, castilla i, castilla ii y chichimene de Ecopetrol s.a. En U. s. ambiental. Villavicencio.
- WHO, G. (2016). Contaminación del Aire Ambiental. paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=12918:ambient-air-pollution&Itemid=72243&lang=es.