



Autoridad Nacional
de Licencias Ambientales



INFORME DEL ESTADO DE LOS RECURSOS NATURALES:

***ESTRATEGIA DE MONITOREO DEL
COMPONENTE ATMOSFÉRICO:
ZONA MINERA DEL CENTRO DEL CESAR
(2020 – 2024)***

**DICIEMBRE
2025**

Irene Vélez Torres
Director General

Jorge Alberto Sanabria Morales
Subdirector Instrumentos Permisos y Trámites Ambientales

Oscar Alexander Varila Quiroga
Coordinador
Grupo de Regionalización
y Centro de Monitoreo

Juliana Andrea Torres Cely
Líder
Implementación Regional

Luisa Fernanda Valencia Casas
Lizeth Bibiana Castro Olivares
Líderes
Centro de Monitoreo de los Recursos Naturales

Juan Pablo Ayala Robayo
Líder
Componente Atmosférico

Neidy Mildred Daza Lesmes
Javier Beltrán Maldonado
Jaime Andrés Fajardo Rodríguez
Profesionales
Componente Atmosférico



CONTENIDO

1. GLOSARIO	4
2. INTRODUCCIÓN	5
3. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MONITOREO	6
3.1. Condiciones de lugar	6
3.2. Condiciones de tiempo	8
3.3. Condiciones de modo	9
4. ANÁLISIS REGIONAL DE LA CALIDAD DEL AIRE	9
4.1. INFORMACIÓN ANALIZADA	9
4.2. RESULTADOS	11
4.2.1. Análisis históricos de material particulado	11
4.2.2. Comportamiento de la velocidad y de la dirección del viento	20
4.2.3. Análisis conjunto de concentraciones de material particulado con el comportamiento del viento	21
4.2.4. Análisis de ciclos temporales	24
4.2.5. Análisis del Índice de Calidad del Aire – ICA	26
4.2.5.1. ICA - Material particulado PM ₁₀	27
4.2.5.2. ICA - Material particulado PM _{2.5}	29
4.2.6. Actuaciones judiciales y procesos sancionatorios asociados al componente atmosférico en el área de la estrategia de monitoreo	30
4.2.7. Modelación de dispersión de material particulado PM ₁₀ y PM _{2.5}	31
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	38
6. BIBLIOGRAFIA	42
7. ANEXOS	43
7.1. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE	43





TABLAS

Tabla 1. Proyectos que reportan bajo la estrategia de monitoreo atmosférica (calidad del aire)	5
Tabla 2. Proyectos en la ZMCC con obligaciones asociadas a la estrategia de monitoreo atmosférica (calidad del aire) de la ANLA.....	6
Tabla 3. Proyectos que reportan bajo la estrategia de monitoreo atmosférica (calidad del aire).....	7
Tabla 4. Cantidad de registros diarios de calidad del aire para la Zona Minera del Centro del Cesar (ZMCC)	10
Tabla 5. Descripción general del Índice de Calidad del Aire	27
Tabla 6. Proyectos incluidos en modelación de La Guajira	31
Tabla 7. Concentraciones anuales sobre receptores discretos PM_{10}	33
Tabla 8. Concentraciones anuales sobre receptores discretos $PM_{2.5}$	34

FIGURAS

Figura 1. Localización de proyectos y estaciones con estrategia de monitoreo del área de análisis (ZMCC) y del SEVCA ZMC de CORPOCESAR.	8
Figura 2. Comportamiento histórico de promedios anuales de PM_{10}	12
Figura 3. Comportamiento histórico de promedios anuales de $PM_{2.5}$	13
Figura 4. Comportamiento histórico de promedios mensuales de PM_{10}	14
Figura 5. Comportamiento histórico de promedios mensuales de $PM_{2.5}$	15
Figura 6. Distribución de los promedios diarios de PM_{10}	16
Figura 7. Tendencia temporal de las concentraciones diarias de PM_{10}	17
Figura 8. Distribución de promedios diarios de $PM_{2.5}$	18
Figura 9. Tendencia temporal de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$	19
Figura 10. Rosas de viento para las estaciones de calidad del aire en 2024.....	20
Figura 11. Gráficos polares anulares para las estaciones de calidad del aire (PM_{10}) en 2024.	21
Figura 12. Gráficos polares anulares para las estaciones de calidad del aire ($PM_{2.5}$) en 2024	22
Figura 13. Gráficos polares para las estaciones de calidad del aire (PM_{10}) en 2024.....	23
Figura 14. Gráficos polares para las estaciones de calidad del aire ($PM_{2.5}$) en 2024	24
Figura 15. Tendencias temporales de las estaciones de calidad del aire en 2024.	26
Figura 16. Índices de calidad del aire de 2024 ICA PM_{10}	28
Figura 17. Índices de calidad del aire de 2024 ICA $PM_{2.5}$	30
Figura 18. Localización de la estación de fondo utilizada con información de concentración de fondo	32
Figura 19. Isopleta de PM_{10} y $PM_{2.5}$ - Tiempo de exposición anual para la ZMCC (año 2023)... ..	35
Figura 20. Índices de calidad del aire de 2024 ICA PM_{10} – SEVCA ZMC CORPOCESAR	50
Figura 21. Índices de calidad del aire de 2024 ICA $PM_{2.5}$ – SEVCA ZMC CORPOCESAR.....	51





1. GLOSARIO

Para efectos del presente documento, se adoptan las siguientes siglas:

ANLA: Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.

CMRN: Centro de Monitoreo de los Recursos Naturales.

CMT-12: Sistema de coordenadas del Origen Nacional (Marco Geocéntrico Nacional de Referencia).

CORPOCESAR: Corporación Autónoma Regional del Cesar.

DBSCAN: Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise (algoritmo de agrupamiento espacial).

EIAc: Evaluación de Impactos Acumulativos.

EM: Estrategia de Monitoreo.

EPA: Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos).

ICA: Índice de Calidad del Aire.

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

MADS: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

MAVDT: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (denominación anterior del MADS).

PM₁₀: Material particulado con diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micrómetros.

PM_{2.5}: Material particulado con diámetro aerodinámico menor o igual a 2,5 micrómetros.

POA: Proyectos, Obras o Actividades.

RMSE: Root Mean Square Error (Error Cuadrático Medio).

SEVCA: Sistema Especial de Vigilancia de la Calidad del Aire.

SILA: Sistema de Información de Licencias Ambientales.

SIPTA: Subdirección de Instrumentos, Permisos y Trámites Ambientales de la ANLA.

SISAIRE: Subsistema de Información sobre Calidad del Aire.

SVCA / SVCAI: Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire.

WRF: Weather Research and Forecasting Model (modelo meteorológico).

ZMC: Zona Minera del Cesar.





2. INTRODUCCIÓN

Este documento presenta el análisis de las concentraciones del periodo 2020 a 2024, de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$), monitoreado por los proyectos que se encuentran reportando a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), bajo la **estrategia de monitoreo del componente atmosférico**, con el propósito evaluar el estado de la calidad del aire. Adicionalmente, se integran y valoran los resultados de los registros provenientes de las estaciones de monitoreo de calidad del aire asociadas al Sistema de Vigilancia Especial de la Corporación Autónoma Regional del Cesar - CORPOCESAR (SEVCA-ZMC), con el objetivo de ampliar la base de información para fortalecer el análisis del estado de la calidad del aire, garantizando una mayor representatividad espacial y temporal de las condiciones atmosféricas en la zona de influencia.

Los datos históricos de la calidad del aire concerniente a la **Estrategia de Monitoreo Atmosférica de la Zona Minera del Centro del Cesar**, considerados en este análisis se enmarcaron en el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2023 al 31 de diciembre del 2024 de la información radicada por los proyectos de tres Sociedades (Tabla 1). De manera adicional, se revisó, procesó y analizó la información contenida en el Subsistema de Información sobre Calidad del Aire – SISAIRE del IDEAM para el periodo de análisis desde 2020 hasta 2024. Conforme a lo anterior, en la Tabla 3 se relacionan las coordenadas de las estaciones con reporte de resultados de concentraciones de material particulado que hicieron parte del análisis; y en la Figura 1, se puede evidenciar la distribución espacial.

Tabla 1. Proyectos que reportan bajo la estrategia de monitoreo atmosférica (calidad del aire)

EXPEDIENTE	MINA
LAM0027	La Loma Pribbenow
LAM2622	Calenturitas
LAM3271	Descanso Norte

Fuente: ANLA SIPTA, 2025.





3. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MONITOREO

Las estrategias de monitoreo regional de los recursos naturales de la ANLA tienen como objetivo optimizar el seguimiento de los proyectos objeto de licenciamiento ambiental y el proceso de Evaluación de Impactos Acumulativos (EIAc), a través del fortalecimiento del monitoreo regional. Los lineamientos y estándares formulados para cada componente están estructurados mediante condiciones de tiempo, modo y lugar.

Para el componente atmosférico, se encuentran implementadas cuatro (4) estrategias de monitoreo, denominadas: La Guajira, Corredor Portuario de Santa Marta, Alto San Jorge y Zona Minera del Centro del Cesar, las cuales cobijan un total de 18 proyectos con obligaciones asociadas al monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. Cabe precisar que, para el seguimiento y análisis del estado de la calidad del aire de las zonas donde se emplazan proyectos de control de la ANLA se cuenta con herramientas complementarias que brindan información del estado de la calidad del aire, entre ellas: story maps¹ y reportes de análisis regional².

Considerando que es la estrategia de monitoreo de la Zona Minera del Centro del Cesar la de objeto del actual análisis, a continuación, se precisan las condiciones de lugar, tiempo y modo del monitoreo de la calidad del aire para cada proyecto.

3.1. Condiciones de lugar

Respecto a la Zona Minera del Centro del Cesar (ZMCC), por medio de la estrategia de monitoreo se establecieron obligaciones y/o medidas para los proyectos con actividades asociadas a mineras de carbón, aunque en la región se desarrollan operaciones para otros sectores. La totalidad de los proyectos con obligaciones bajo estrategia y para esta zona se listan en la Tabla 2. Sin embargo, solo los asociados en la Tabla 1, con sus respectivas estaciones (Tabla 3), se encuentran reportando resultados de monitoreos a esta Autoridad, en el marco de sus respectivas acreditaciones del IDEAM.

Tabla 2. Proyectos en la ZMCC con obligaciones asociadas a la estrategia de monitoreo atmosférica (calidad del aire) de la ANLA

EXPEDIENTE	EMPRESA	MINA	MUNICIPIO
LAM0027	Drummond Ltda.	La Loma Pribbenow	El Paso, Chiriguaná y La Jagua de Ibirico.
LAM2622	C.I. Prodeco S.A.	Calenturitas	El Paso, Becerril y La Jagua de Ibirico.

¹ ANLA. History Map para la Zona Minera del Centro del Cesar. Disponible en: <https://portalsig.anla.gov.co/portal/apps/storymaps/stories/955adb53bb004ff5ae4a978478cf1229>

² ANLA. Reportes de Análisis Regional para la Zona Minera del Centro del Cesar. Disponible en: <https://www.anla.gov.co/proyectos-anla/centro-de-monitoreo/reporte-de-alertas>



EXPEDIENTE	EMPRESA	MINA	MUNICIPIO
LAM3199	C.L. Colombian Natural Resources I S.A.S.	La Francia	Becerril y El Paso.
LAM3271	Drummond Ltda.	Descanso Norte	Becerril y Agustín Codazzi
LAM3831	Norcarbon S.A.	Cerrolargo	La Jagua de Ibirico
LAM1862	COLOMBIAN NATURAL RESOURCES CNR III LTD. Sucursal Colombia.	El Hatillo	El Paso (Corregimiento De La Loma), Chiriguana y La Jagua de Ibirico.

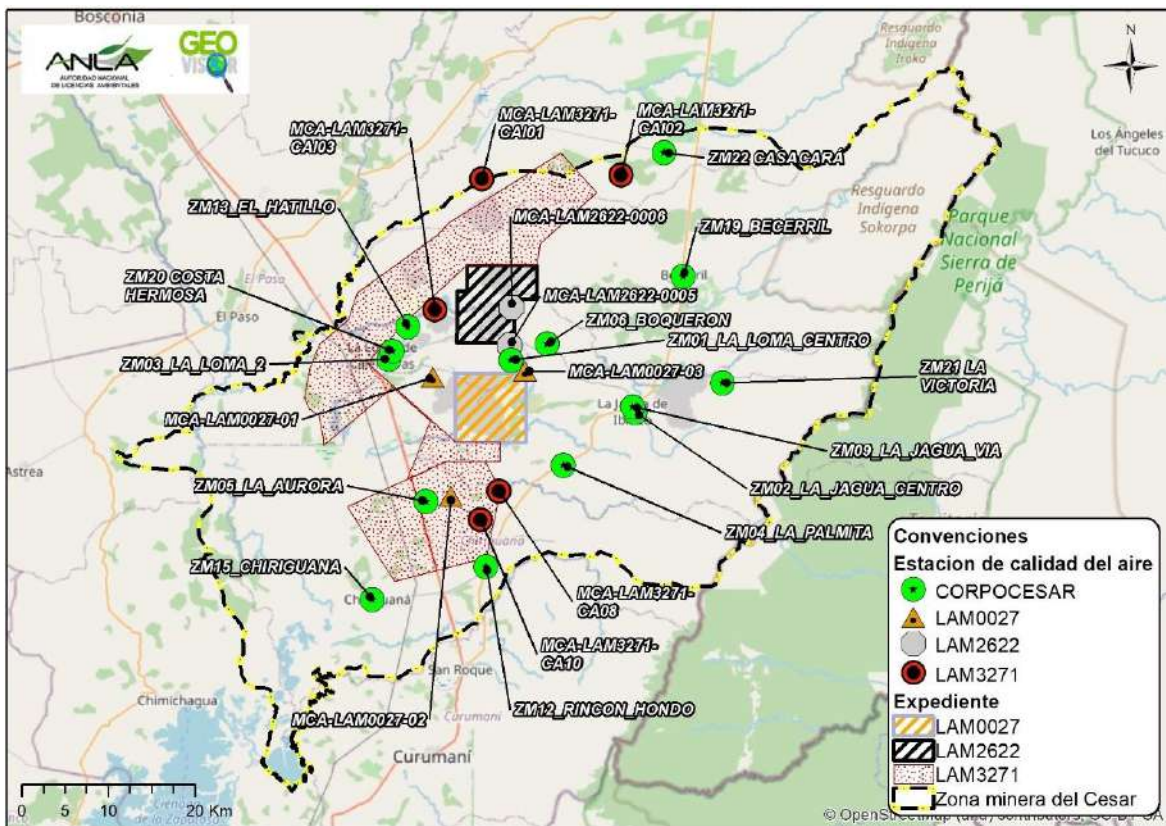
Fuente: Documento Estrategia Regional para Seguimiento al Componente Atmosférico de la Zona Minera del Cesar (2018). ANLA, 2025.

A continuación, se precisa la localización de las estaciones de monitoreo de cada uno de los proyectos analizados en el marco de la estrategia de monitoreo (Tabla 3 y Figura 1).

Tabla 3. Proyectos que reportan bajo la estrategia de monitoreo atmosférica (calidad del aire)

SVCA	NOMBRE ESTACIÓN	COORDENADAS ORIGEN ÚNICO NACIONAL	
		ESTE	NORTE
LAM3271	MCA-LAM3271- CAI01	4946040.6	2641406.7
	MCA-LAM3271- CAI02	4962136.2	2641835.2
	MCA-LAM3271- CAI03	4940587.1	2626258.1
	MCA-LAM3271- CA08	4948000.2	2605275.9
	MCA-LAM3271- CA10	4945892.5	2602000.1
LAM0027	MCA-LAM0027-01	4940388.8	2618445.2
	MCA-LAM0027-02	4942463.9	2604672.5
	MCA-LAM0027-03	4951050.9	2619166.6
LAM2622	MCA-LAM2622-0005	4949266.2	2622103.7
	MCA-LAM2622-0006	4949515.1	2626510.3
CORPOCESAR	ZM01 LA LOMA CENTRO	4949459.0	2620393.6
	ZM02 LA JAGUA CENTRO	4963836.7	2614344.5
	ZM03 LA LOMA 2	4935272.3	2620545.8
	ZM04 LA PALMITA	4955523.0	2608244.1
	ZM05 LA AURORA	4939564.7	2604090.9
	ZM06 BOQUERON	4953614.0	2622285.5
	ZM09 LA JAGUA VÍA	4963511.3	2615020.2
	ZM12 RINCÓN HONDO	4946515.9	2596531.4
	ZM13 EL HATILLO	4937483.5	2624251.6
	ZM15 CHIRIGUANA	4933363.4	2592738.9
	ZM19 BECERRIL	4969380.4	2630115.8
	ZM20 COSTA HERMOSA	4935686.5	2621483.1
	ZM21 LA VICTORIA	4973934.2	2617750.1
	ZM22 CASACARÁ	4967187.6	2644442.6

Fuente: ANLA SIPTA, 2025.



Fuente: ANLA SIPTA, 2025.

Figura 1. Localización de proyectos y estaciones con estrategia de monitoreo del área de análisis (ZMCC) y del SEVCA ZMC de CORPOCESAR.

3.2. Condiciones de tiempo

El monitoreo es permanente con frecuencia de muestreo máximo horaria para muestreadores automáticos y cada tercer día en el caso de muestreadores manuales. Como mínimo deben reportarse registros de 24 horas, medidos desde medianoche hasta la medianoche conforme a lo establecido en el Manual del Diseño del Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad de Aire, adoptado mediante Resolución No. 650 de 2010³ y ajustado por la Resolución No. 2154 de 2010⁴, o aquellas que las modifiquen o sustituyan.

Los resultados de las mediciones de los contaminantes y variables meteorológicas deben ingresar como reporte de monitoreo regional de manera semanal para el caso de estaciones automáticas y mensualmente para el caso de estaciones manuales. Sin perjuicio de lo anterior, y en línea con lo establecido en el Artículo 25 de la Resolución No. 2254 de 2017⁵, la información del estado de la calidad del aire deberá migrarse también al Subsistema de

³ Resolución 650 de 2010: "Por la cual se adopta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire".

⁴ Resolución 2154 de 2010: "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"

⁵ Resolución 2254 de 2017: "Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones"



Información sobre la Calidad del Aire (SISAIRE), conforme a los tiempos de reporte establecidos en el Artículo Quinto de la Resolución 651 de 2010⁶.

3.3. Condiciones de modo

Contaminantes y parámetros: Medición de parámetros meteorológicos, entre los que se encuentran la temperatura del aire (°C), presión atmosférica (bar), humedad relativa (%), radiación solar (W/m²), precipitación (mm), velocidad (m/s) y dirección del viento (°). Adicionalmente, se deberá registrar los contaminantes de material particulado PM₁₀ y PM_{2.5}, a condiciones de referencia y en µg/m³.

Metodología: Registro de las muestras, así como el análisis deben ser realizadas por empresas o laboratorios acreditados por el IDEAM⁷.

Conforme a lo anterior, a continuación, se precisan los análisis históricos para determinar el estado de la calidad del aire.

4. ANÁLISIS REGIONAL DE LA CALIDAD DEL AIRE

4.1. INFORMACIÓN ANALIZADA

De acuerdo con la descripción de las estaciones de monitoreo de calidad del aire ubicadas en la zona de la estrategia, presentadas en la Tabla 3 y la Figura 1, a continuación, se analizan los resultados de material particulado PM₁₀ y PM_{2.5}, junto con las variables meteorológicas cuyos datos se asocian a estas mediciones.

El consolidado de registros por estación se presenta en la Tabla 4. Teniendo en cuenta que se trata de sistemas fijos que monitorean de manera permanente durante el año, la representatividad temporal de los registros se calcula con base en el número máximo de datos que pueden ser obtenidos en el año de evaluación, bajo el entendido de que se cumple con la normatividad vigente si se supera el 75% del total de datos que se pueden capturar en el año.

⁶ Resolución 651 de 2010: "Por la cual se crea el Subsistema de Información sobre Calidad del Aire - SISAIRE".

⁷ Según lo establecido en el artículo 2.2.8.9.1.5 del Decreto 1076 de 2015, "Por la cual se resuelve crear el subsistema de información sobre calidad del aire - SISAIRE como fuente principal de información para el diseño, evaluación y ajuste de las políticas y estrategias nacionales de prevención y control de la contaminación del aire".





Tabla 4. Cantidad de registros diarios de calidad del aire para la Zona Minera del Centro del Cesar (ZMCC)

AÑOS	EXPEDIENTE/ CORPORACIÓN	PM ₁₀		PM _{2,5}	
		# ESTACIONES QUE MONITOREARON	RANGO DE REPRESENTATIVIDAD (%)	# ESTACIONES QUE MONITOREARON	RANGO DE REPRESENTATIVIDAD (%)
2020-2024	CORPOCESAR	14	54 – 100	12	8 – 100
2023-2024	LAM0027	3	92 – 98	3	92 – 98
2023-2024	LAM2622	2	87 – 99	2	90 – 97
2023-2024	LAM3271	6	47 – 100	6	47 – 100

Fuente: ANLA - SIPTA, 2025, a partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales y la información descargada del Subsistema de Información sobre Calidad del Aire – SISAIRE - Medidos por CORPOCESAR.

La información anterior, muestra la representación temporal de los datos de los muestreos para material particulado. Así las cosas, conforme a esta se evidencia la variabilidad y el análisis de cumplimiento ocurre para aquellas estaciones que superan el 75% de representatividad conforme a lo establecido en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire (MAVDT, 2010 hoy MADS), para los años analizados.

Según los datos procesados, se determina que la representatividad temporal de los proyectos a cargo de la ANLA presenta resultados superiores a 80% para los años 2023 y 2024, a excepción del LAM3271, el cual para 2024 tuvo una representatividad del 47% en la estación CAI04 y del 67% para CAI10. Cabe precisar que, para este último proyecto, las justificaciones asociadas a la cantidad de registros analizados y válidos se encontrarán en el apartado de resultados. De otra parte, para el Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire de CORPOCESAR, se registran representatividades anuales que oscilan entre 8% y el 100% en un periodo de análisis que cubre desde los años 2020 al 2024, en 12 o 14 estaciones de monitoreo dependiendo del parámetro. Conforme a esto, se evidencia que algunas estaciones no logran el porcentaje de validez de captura de información. Lo anterior, asociado al tiempo de arranque del monitoreo o posibles salidas de funcionamiento de los equipos. Aun así, la mayoría de las estaciones cumplen con el criterio antes mencionado, lo que permite hacer los respectivos análisis de resultados; así mismo, se debe resaltar que, para los últimos cinco (5) años la captura y validez de los datos han tenido mayor representatividad.





4.2. RESULTADOS

4.2.1. Análisis históricos de material particulado

En el presente apartado se identificará el análisis histórico del material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$, para los periodos anual, mensual y diario, por medio de diferentes representaciones.

La recopilación de los datos provenientes del Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire de CORPOCESAR y de los proyectos objeto de seguimiento por parte de la ANLA se realizó de manera permanente en la mayoría de las estaciones de monitoreo, con registros de información en periodicidad horaria, diaria o cada tercer día. A partir del análisis de completitud de los datos, se identificaron interrupciones temporales en algunas estaciones, las cuales, para ambas fuentes de información, se asociaron principalmente a la salida de operación de equipos por causas ajenas a la corporación o a los operadores de los respectivos proyectos. No obstante, dichas interrupciones no afectaron los criterios de representatividad de la información, toda vez que se determinaron niveles de completitud superiores al 75%, considerando de manera general los registros correspondientes a los últimos cinco (5) años. Finalmente, se precisa que el análisis detallado de las series temporales se presenta en el numeral 4.2.4.

Adicionalmente, se observa que todas las estaciones presentan una distribución normal de los datos, considerado que las medias aritméticas de los registros de CORPOCESAR se encuentran entre $16 - 45,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y $2,7 - 26,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $PM_{2.5}$.

En cuanto a los proyectos bajo seguimiento de la ANLA, se observaron los siguientes rangos de concentración media anual:

- LAM0027: entre $15,8 - 18,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y entre $8,0 - 9,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $PM_{2.5}$.
- LAM2622 entre $26,1 - 28,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y entre $11,0 - 14,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $PM_{2.5}$.
- LAM3271 entre $15,2 - 20,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y entre $7,9 - 10,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $PM_{2.5}$.

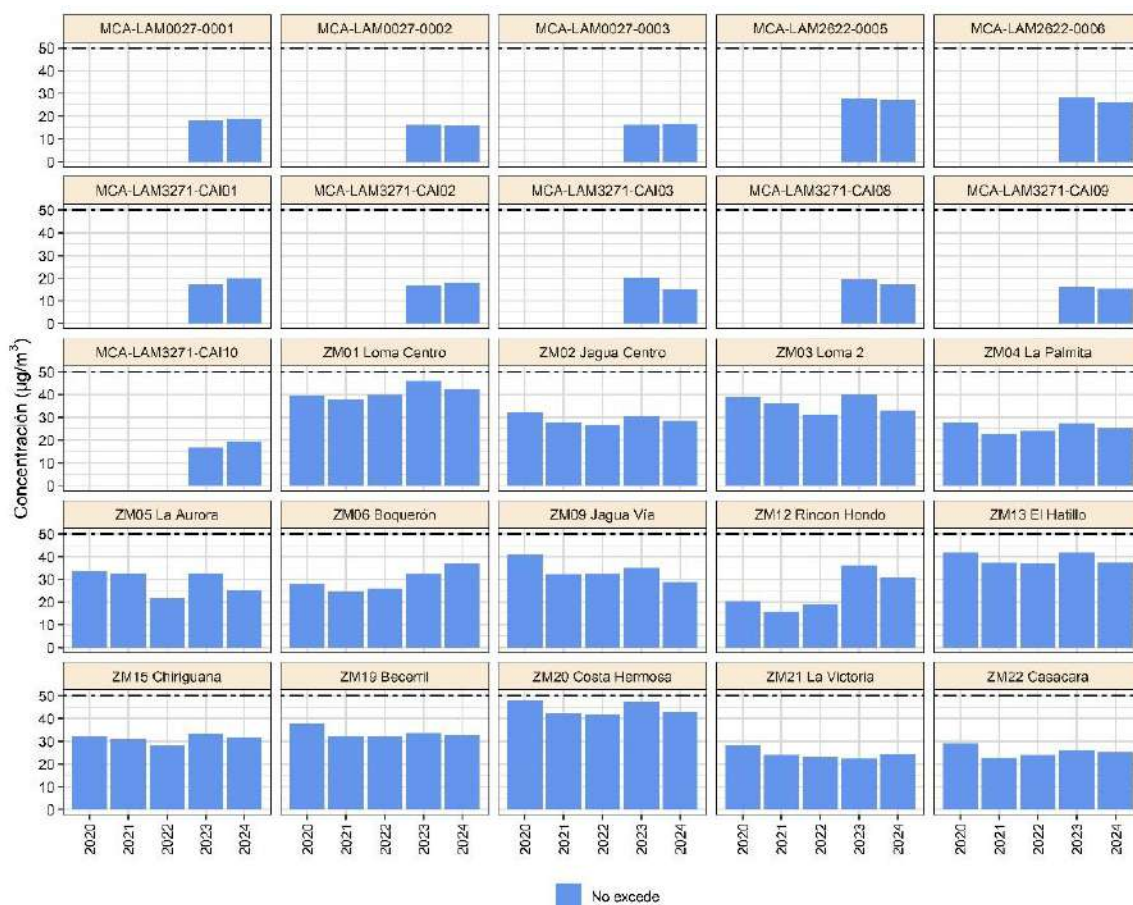
Con base en lo anterior, se concluye que las medias anuales se encuentran por debajo de los límites permisibles establecido por la Resolución No. 2254 de 2015 para ambos contaminantes (50 y $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, para un tiempo de exposición anual). Por otra parte, se observó un incremento de las concentraciones durante la temporada seca (diciembre a marzo), mientras que en los demás meses del año se evidenció una reducción en los niveles. Finalmente, se destaca que el comportamiento de $PM_{2.5}$ muestra una tendencia similar a la PM_{10} .

A continuación, se presenta el comportamiento histórico de los promedios anuales de PM_{10} y $PM_{2.5}$, representando con una línea punteada los límites permisibles de estos parámetros, según la Resolución No. 2254 de 2017, y resaltando en color rojo el año que alcanzaron dichos estándares normativos.





Considerando los resultados plasmados en la Figura 2, se observa que, para la todas las estaciones se da cumplimiento al nivel máximo permisible anual de PM_{10} establecido en la Resolución No. 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, correspondiente a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sin embargo, en los últimos dos años (2023 y 2024) ZM01 Loma Centro, ZM03 Loma 2, ZM13 El Hatillo y ZM20 Costa Hermosa, muestran promedios que se acercan al umbral permisible. Se evidencia adicionalmente, que las estaciones de los proyectos que reportan a la ANLA presentan concentraciones de promedios anuales inferiores a los resultados registrados en las estaciones de CORPOCESAR. Lo anterior, permite deducir que, los aportes a la calidad del aire se ven influenciados por una variedad de fuentes adicionales a las que se pueden encontrar en cada proyecto. De otra parte, las estaciones ZM05 La Aurora y ZM12 Rincón Hondo registraron una leve disminución de las concentraciones para el 2024 respecto a los años anteriores.



Fuente: ANLA - SIPTA, 2025. A partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales y la información descargada del Subsistema de Información sobre Calidad del Aire – SISAIRE - Medidos por CORPOCESAR.

Figura 2. Comportamiento histórico de promedios anuales de PM_{10}



Respecto al $PM_{2.5}$ (Figura 3), se evidencia que, en los años 2020 y 2023, las estaciones ZM01 Loma Centro y ZM21 La Victoria presentaron excedentes del nivel máximo permisible anual de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Adicionalmente, en los últimos dos años (2023 y 2024) las estaciones ZM13 El Hatillo, ZM Costa Hermosa ZM03 Loma 2 y ZM09 Jagua Vía, aunque no exceden el límite sí mantienen registros por encima de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y se encuentran influenciadas según CORPOCESAR, por eventos de quemas de residuos sólidos, incendios forestales, alto tráfico vehicular, obras civiles, actividades industriales en zonas próximas a las estaciones, así como por la variabilidad del clima con cambios de temperatura y escasez de precipitaciones⁸. Igualmente, se destaca que los promedios anuales más altos se presentaron en el SEVCA de CORPOCESAR; lo que resulta ser acorde con los resultados obtenidos para PM_{10} , previamente analizados. De otra parte, las estaciones de los proyectos que reportan a la ANLA evidencian cumplimiento al límite normativo; no obstante, la tendencia general es a la baja en varias estaciones entre 2020 y 2024.

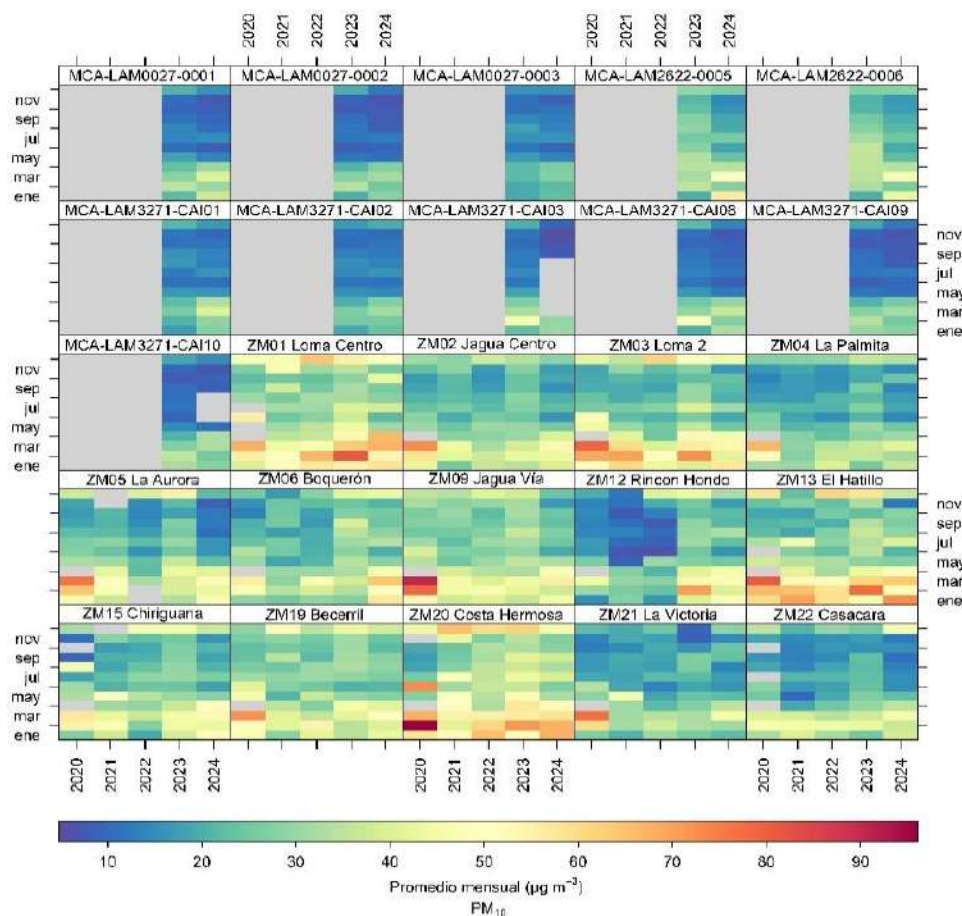


Fuente: ANLA - SIPTA, 2025. A partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales y la información descargada del Subsistema de Información sobre Calidad del Aire – SISAIRE - Medidos por CORPOCESAR.

Figura 3. Comportamiento histórico de promedios anuales de $PM_{2.5}$

⁸ CORPOCESAR. Informe de operación del sistema especial de vigilancia de calidad del aire de CORPOCESAR. Informes anuales 2020 a 2024. Disponibles en: https://monitoreo.gndelectronics.com/app/dashboards/public/dashboard/8Fj73LKvqOznRwmEsEtaXGPE_0agch4CxjBjEM1buY?navbar=true&contextbar=false

En relación con la tendencia de los promedios mensuales (Figura 4 y Figura 5), se presentan para cada estación los promedios históricos, evidenciando que las mayores concentraciones de material particulado se registran en temporada seca (diciembre a marzo), en contraste, de abril a noviembre se presentaron niveles más bajos, probablemente por efecto de la temporada de lluvias. Dicha temporada fue similar para todas las estaciones valoradas en la zona de la estrategia de monitoreo, como para las correspondientes al SEVCA CORPOCESAR.



Fuente: ANLA - SIPTA, 2025. A partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales y la información descargada del Subsistema de Información sobre Calidad del Aire – SISAIRE - Medidos por CORPOCESAR.

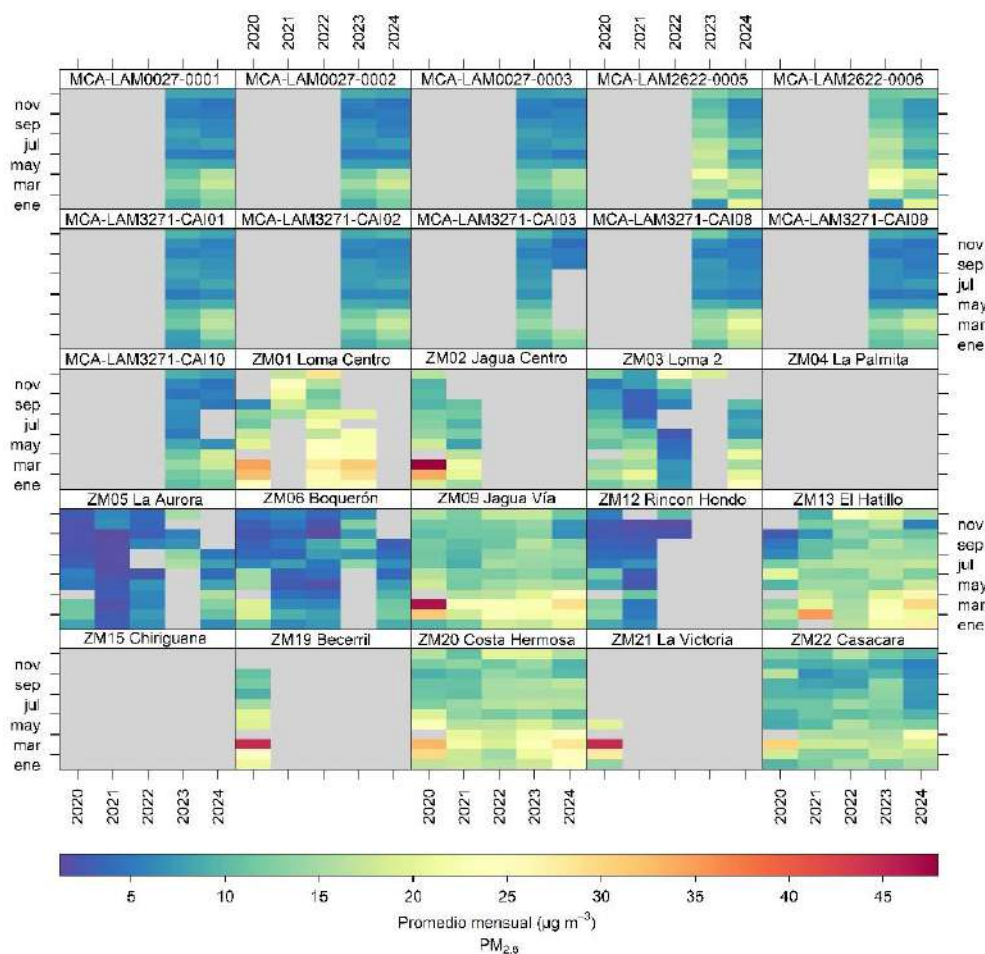
Figura 4. Comportamiento histórico de promedios mensuales de PM₁₀

Las estaciones MCA-LAM0027-0001 al 0003, MCA-LAM3271-CAI01 a CAI10, registraron bajas concentraciones promedio mensual de PM₁₀ en todos los años reportados, sugiriendo una buena calidad del aire en esas zonas. Respecto a las estaciones ZM12 Rincón Hondo, ZM22 Casacará y ZM19 Becerril, predominaron los tonos verdes y azulados, indicando condiciones mayormente favorables. Se resalta que las concentraciones promedio mensuales más altas de material particulado asociadas al parámetro PM₁₀ se presentan en las estaciones de CORPOCESAR en temporada seca. Respecto a los proyectos con expedientes: LAM0027,



LAM2622 y LAM3271 se observa que, para el año 2023 y 2024, en todas sus estaciones se presentaron concentraciones relativamente bajas.

Por otra parte, se observa que los resultados del material particulado asociado al parámetro $PM_{2.5}$, (Figura 5) al igual que con el PM_{10} , arrojaron las concentraciones que tienden a aumentar en los periodos de tiempo comprendidos entre diciembre a abril, meses caracterizados por alta radiación solar y baja precipitación. Ahora bien, las estaciones de los proyectos MCA-LAM0027, MCA-LAM3271 y del SEVCA de CORPOCESAR ZM12 Rincón Hondo, ZM15 Chiriguana, ZM13 El Hatillo ostentan en su mayoría valores por debajo de $15 \mu g/m^3$, lo que sugiere una buena calidad del aire. Por el contrario, las estaciones del SEVCA de CORPOCESAR: ZM20 Costa Hermosa, ZM21 La Victoria, ZM06 Boquerón, ZM09 Jagua Vía y ZM01 Loma Centro presentaron eventos de alta concentración de $PM_{2.5}$ en meses secos (diciembre a marzo). Con todo, en los proyectos que son de competencia para el seguimiento de la ANLA se observa que todas sus estaciones en el año presentan concentraciones más bajas, que cumplen con el límite normativo.



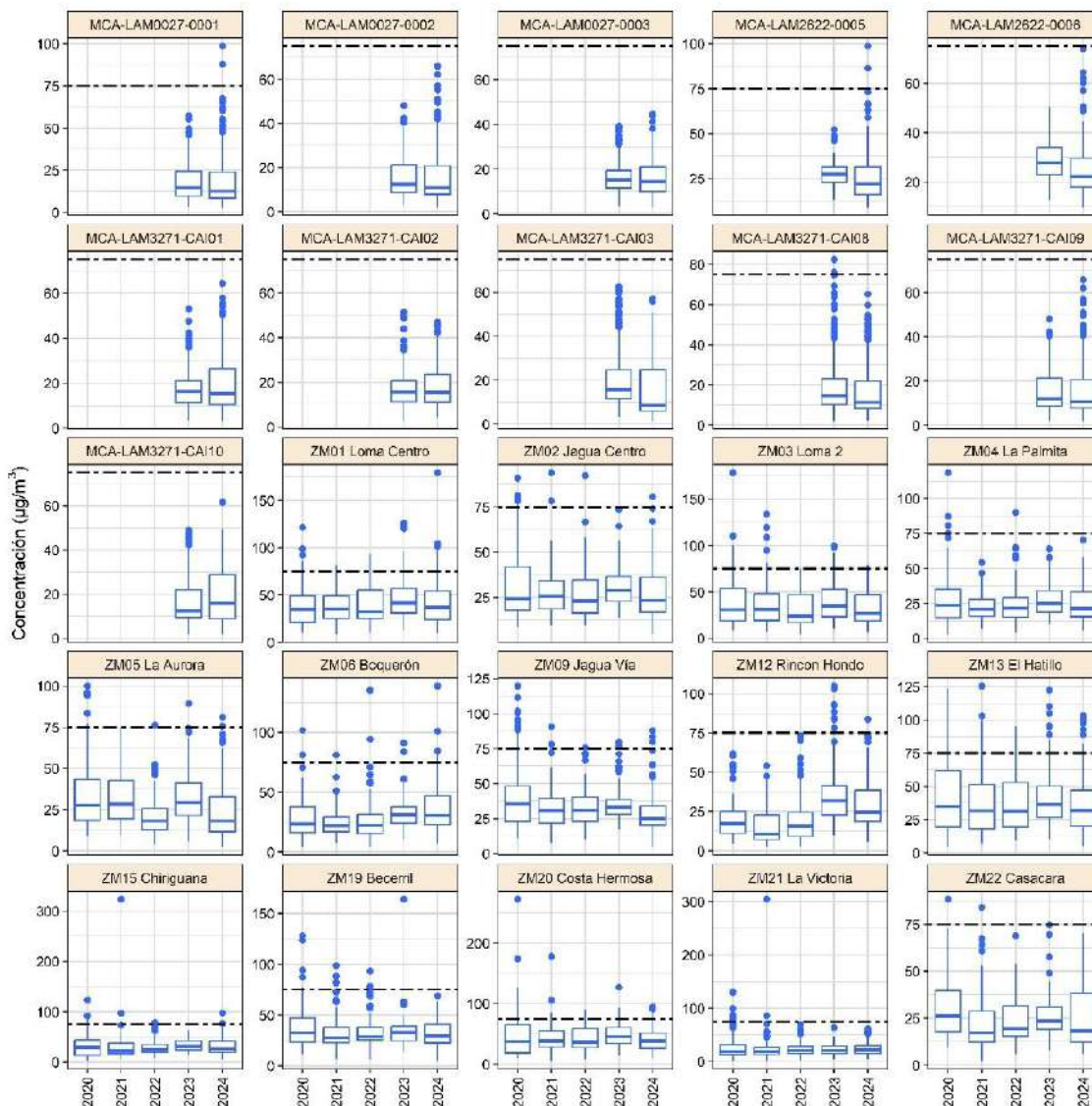
Fuente: ANLA - SIPTA, 2025. A partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales y la información descargada del Subsistema de Información sobre Calidad del Aire – SISAIRE - Medidos por CORPOCESAR.

Figura 5. Comportamiento histórico de promedios mensuales de $PM_{2.5}$





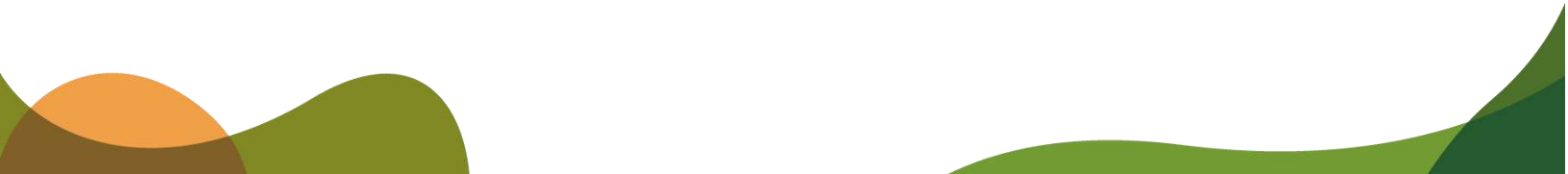
En cuanto al estudio de las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en tiempo de exposición diario (Figura 6 a la Figura 9), se realizó un análisis de percentiles a manera de diagramas de caja y su respectiva tendencia temporal, los cuales se presentan a continuación.



Fuente: ANLA - SIPTA, 2025. A partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales y la información descargada del Subsistema de Información sobre Calidad del Aire – SISAIRE - Medidos por CORPOCESAR.

Figura 6. Distribución de los promedios diarios de PM_{10}

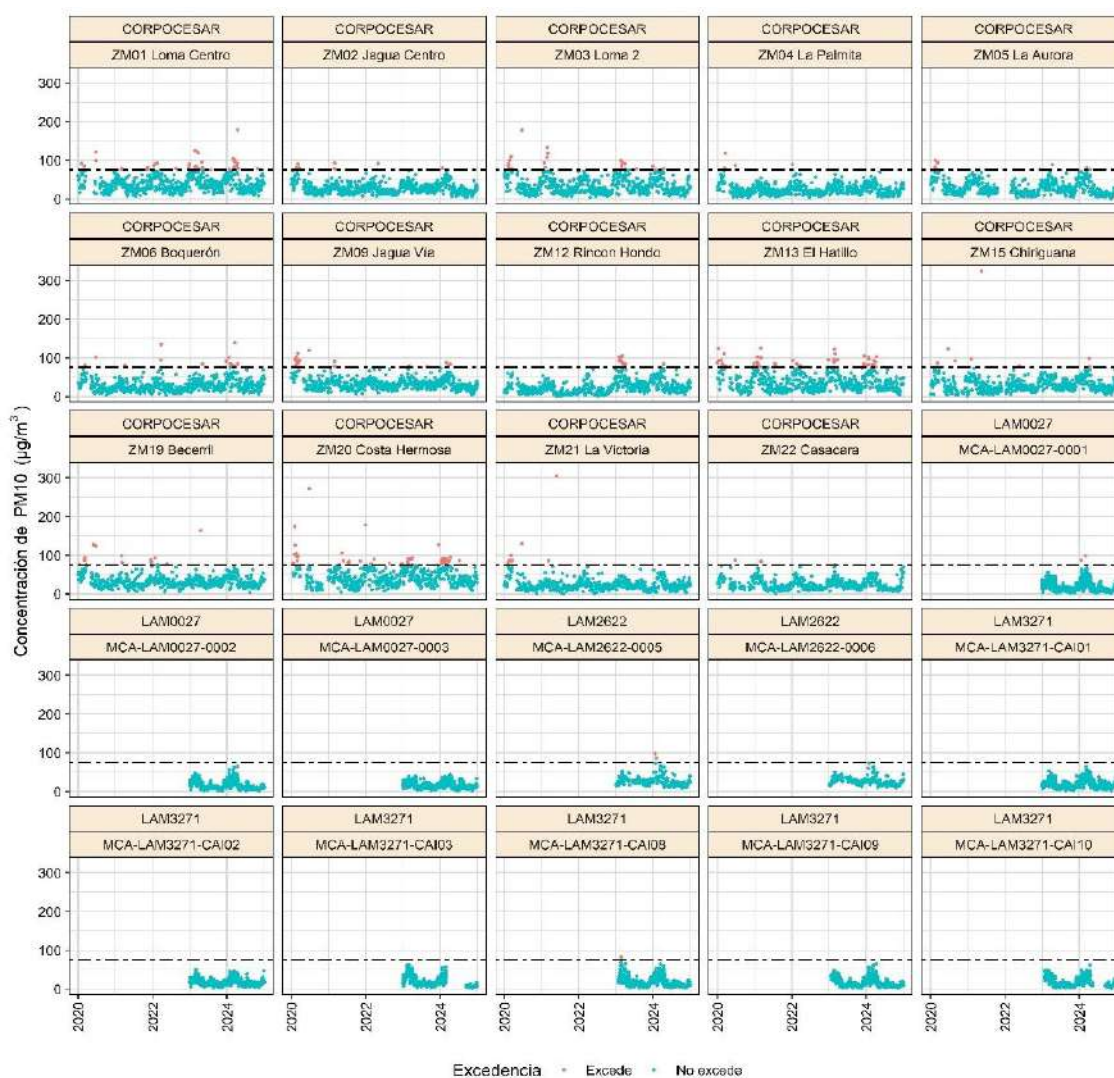
Conforme a los resultados (Figura 6 y Figura 7), se observa que los datos diarios de PM_{10} en la mediana o percentil 50 se encuentran por debajo del nivel máximo permisible de $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en tiempo de exposición de 24 horas. No obstante, si bien la tendencia general es de cumplimiento, se presentaron algunas excedencias o datos atípicos en estaciones de monitoreo especialmente en el SEVCA de CORPOCESAR.





Para las estaciones de los proyectos: MCA-LAM0027-0001 al 0003, MCA-LAM3271-CAI01 al CAI10, MCA-LAM2622-0005 y 0006, se evidencian los valores mayoritariamente inferiores a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El conjunto de datos analizados presenta baja dispersión y una reducida presencia de valores atípicos (outliers). No obstante, se precisa que la estación MCA-LAM3271-CAI08 registró en 2023 algunos datos esporádicos que superaron el estándar normativo, situación que no se evidenció durante el año 2024.

Por otra parte, en aquellas estaciones que reportaron superaciones diarias recurrentes, se identificaron registros en ZM02 Jagua Centro, ZM05 La Aurora, ZM09 Jagua Vía, ZM20 Costa Hermosa, ZM21 La Victoria y ZM22 Casacara, pertenecientes al SEVCA de CORPOCESAR, donde se observaron outliers por encima del umbral establecido. En particular, en las estaciones ZM20 Costa Hermosa y ZM21 La Victoria se registraron valores extremos entre 200 y $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$, significativamente superiores a los estándares nacionales.



Fuente: ANLA - SIPTA, 2025. A partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales y la información descargada del Subsistema de Información sobre Calidad del Aire – SISAIRE - Medidos por CORPOCESAR.

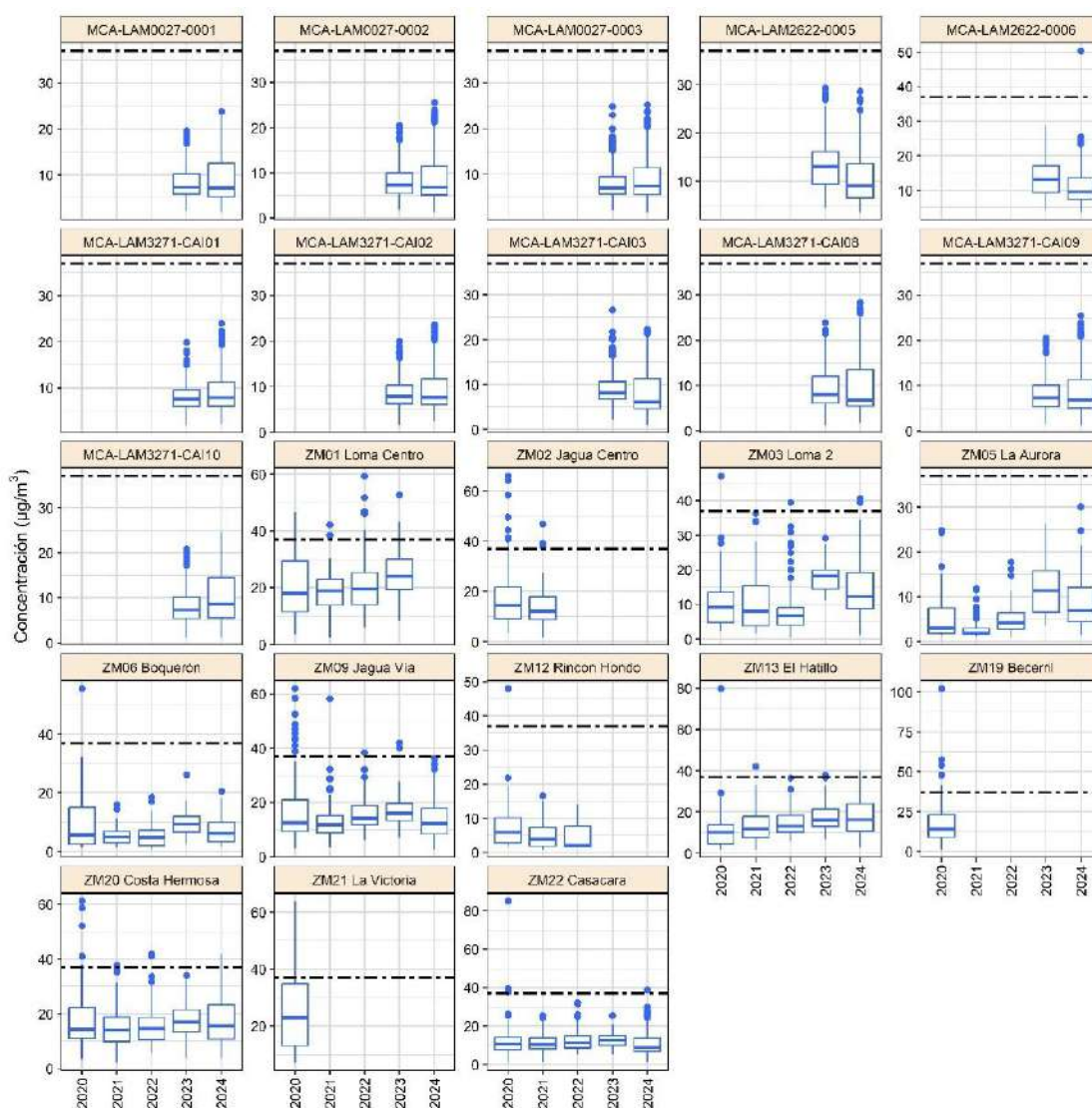
Figura 7. Tendencia temporal de las concentraciones diarias de PM_{10}





En relación con el material particulado $PM_{2.5}$ (Figura 8 y Figura 9), la mediana o percentil 50 muestran que la gran mayoría de los datos dan cumplimiento normativo con registros por debajo de los $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Para las estaciones ZM01 Loma Centro, ZM02 Jagua Centro, ZM03 Loma 2, ZM06 Boquerón, ZM09 Jagua Vía, ZM12 Rincón Hondo, ZM13 El Hatillo, ZM20 Costa Hermosa y ZM22 Casacara, muestran medianas generalmente dentro del límite, pero con picos dispersos que superan los $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$, evidenciando también mayor dispersión y múltiples valores atípicos altos.

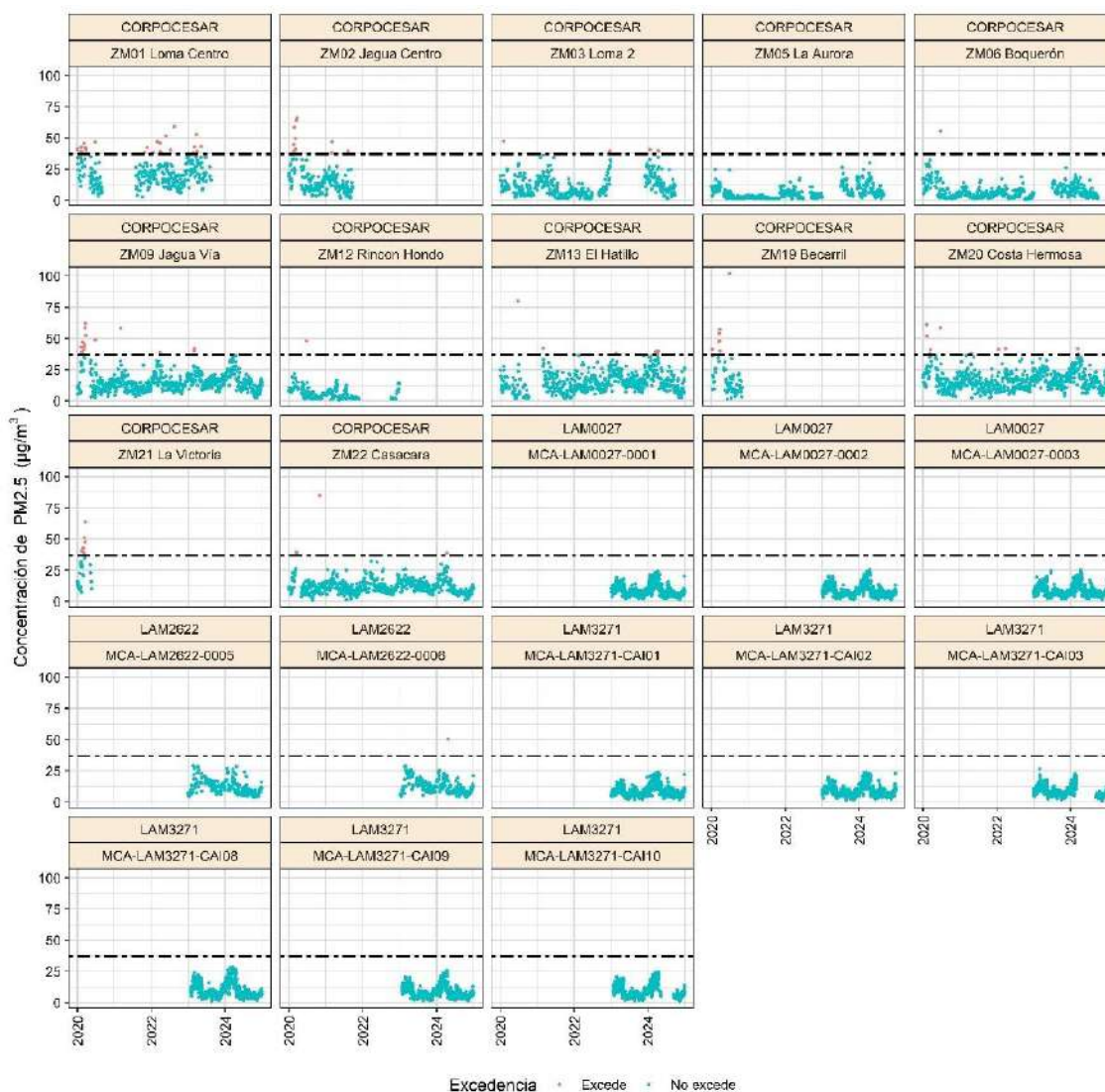
En la distribución temporal de las concentraciones de $PM_{2.5}$ para el periodo analizado se evidencian excedencias del nivel máximo permisible de $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ señalado con una línea punteada, coincidentes con las estaciones referenciadas con excedencias diarias, en el análisis anterior.



Fuente: ANLA - SIPTA, 2025. A partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales y la información descargada del Subsistema de Información sobre Calidad del Aire - SISAIRE - Medidos por CORPOCESAR.

Figura 8. Distribución de promedios diarios de $PM_{2.5}$





Fuente: ANLA - SIPTA, 2025. A partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales y la información descargada del Subsistema de Información sobre Calidad del Aire – SISAIRE - Medidos por CORPOCESAR.

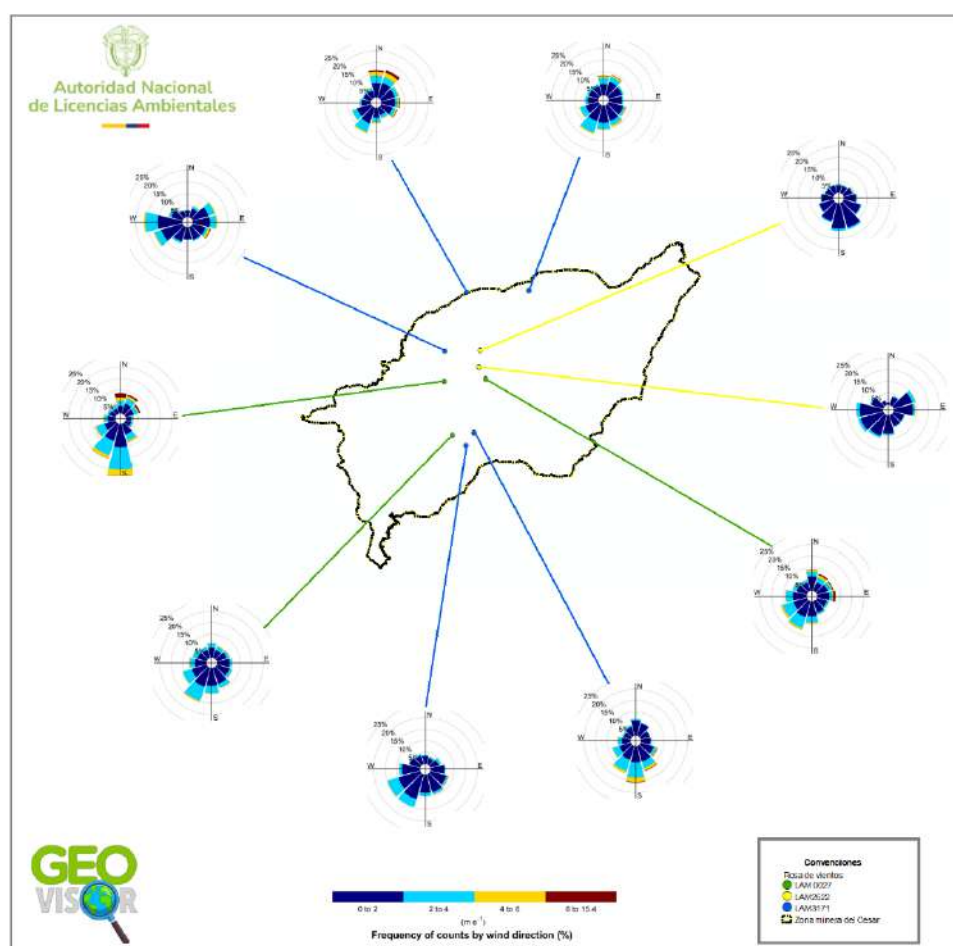
Figura 9. Tendencia temporal de las concentraciones diarias de PM_{2.5}

En términos generales, la tendencia de los datos diarios evidencia el cumplimiento de los niveles máximos permisibles establecidos en la normativa nacional para los proyectos bajo seguimiento de la ANLA, correspondientes a los expedientes LAM0027, LAM2622 y LAM3271, analizados para los años 2023 y 2024. No obstante, los resultados del SEVCA de CORPOCESAR muestran algunas excedencias y una tendencia temporal creciente de las concentraciones en los años 2022 y 2023 en determinadas estaciones de monitoreo. Estas variaciones podrían estar asociadas a condiciones meteorológicas particulares o a la actividad de las fuentes de emisiones de contaminantes atmosféricos, tales como el tránsito en vías o actividades industriales. Por otra parte, se observa una tendencia general de leve mejora en las estaciones ZM06 Boquerón, ZM09 Jagua Vía y ZM02 Jagua Centro, con reducción de medianas y dispersión.

Lo anterior, evidencia la necesidad de continuar con la estrategia de monitoreo para la recopilación de datos que son remitidos a la ANLA en los proyectos que son de su competencia y seguir consolidando la base de datos que confirmen la tendencia de la calidad del aire en la zona. Adicional, se corrobora el adecuado aporte de los estudios de calidad del aire del sistema de vigilancia de CORPOCESAR, debido que estos resultados permiten hacer seguimiento a una zona de alto interés por la actividad industrial que la circunda.

4.2.2. Comportamiento de la velocidad y de la dirección del viento

Respecto a las variables meteorológicas, a continuación, se analiza la velocidad y dirección del viento por medio de las rosas de viento obtenidas a partir de los datos para el año 2024 de los tres (3) proyectos que reportaron a la estrategia de monitoreo. Las rosas de viento generadas corresponden a cinco (5) para el LAM3271; tres (3) para el proyecto LAM0027 y dos (2) para el LAM2622.



Fuente: ANLA - SIPTA, a partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales, 2025

Figura 10. Rosas de viento para las estaciones de calidad del aire en 2024

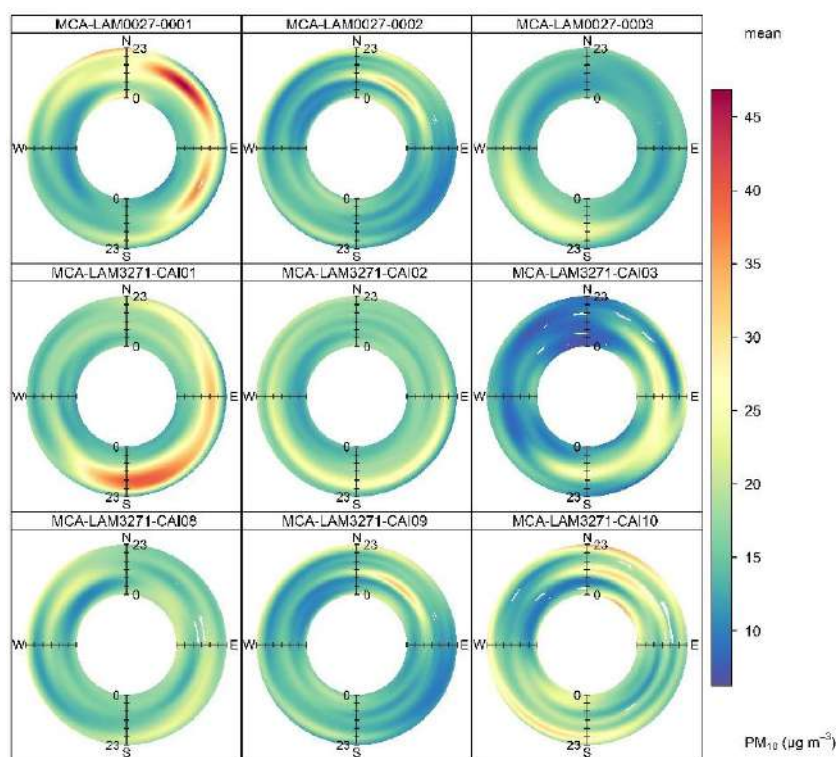


De acuerdo con la Figura 10, se evidencia que no existe una tendencia de dirección del viento predominante en el área de la estrategia. Al norte las dos (2) rosas presentan tendencias opuestas; la del noreste presenta vientos con predominancia sureste y la del noroeste la tendencia de los vientos es suroeste. Por otro lado, las tres (3) rosas de viento generadas al sur del área presentan una tendencia con dirección predominante al noreste. Finalmente, las cinco (5) rosas de vientos ubicadas en el centro del área presentan un predominio de dirección del viento hacia el noreste.

Las velocidades del viento altas pueden ayudar a dispersar los contaminantes, reduciendo su concentración en un área. Los rangos de velocidades para el área de la estrategia se presentan porcentajes de velocidades del viento superiores a 6 m/s y en el rango de 4 a 6 m/s. Sin embargo, el predominio general del porcentaje está en el rango de velocidades de 0 a 2 m/s, seguido del rango de 2 a 4 m/s, lo cual indica que existe una baja dispersión.

4.2.3. Análisis conjunto de concentraciones de material particulado con el comportamiento del viento

Para profundizar en los análisis de tendencias y teniendo en cuenta que se contó con datos de concentración en resolución horaria, se procedió a cruzar estos datos con los correspondientes a la dirección del viento y la hora del día, obteniendo los siguientes gráficos polares anulares, para el 2024.

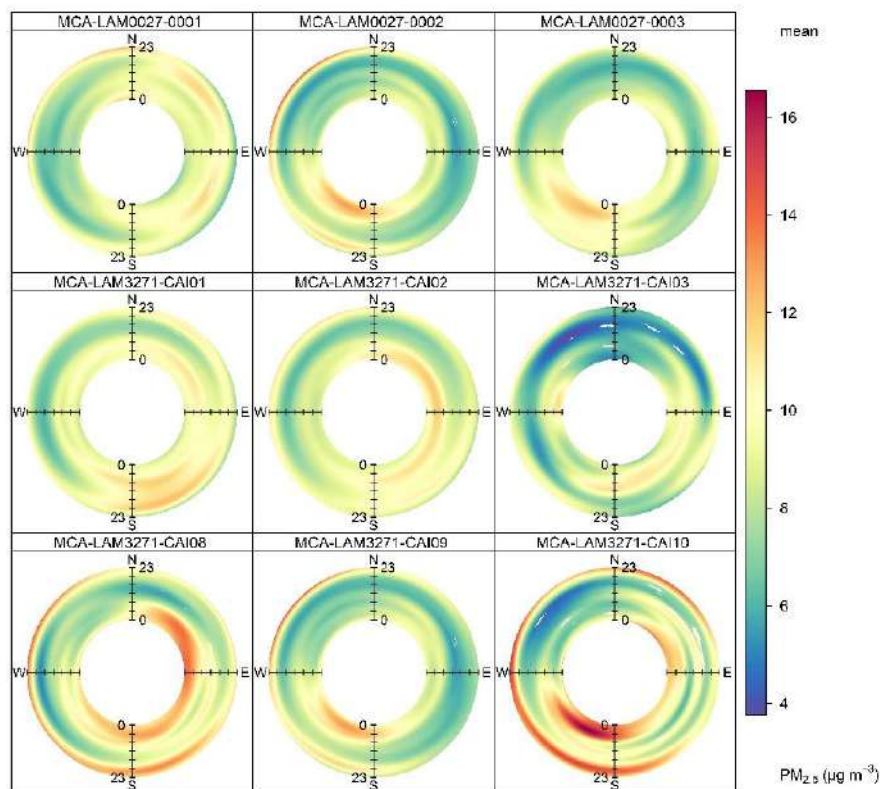


Fuente: ANLA - SIPTA, a partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales, 2025
Figura 11. Gráficos polares anulares para las estaciones de calidad del aire (PM₁₀) en 2024





Considerando la Figura 11, de manera general se presentan concentraciones bajas de PM_{10} en la mañana de las 0 a las 8 horas desde todas las direcciones. A partir de las 8 de la mañana se presentan incrementos de las concentraciones del contaminante, que pueden llegar a $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para (7) de las (9) estaciones de monitoreo, en donde para las estaciones MCA-LAM0027-0001 y MCA-LAM3171-CAI01 se presentan concentraciones por superiores a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en la primera provenientes del noreste alrededor de las 16 horas y en la segunda provenientes del sureste también alrededor de las 16 horas.



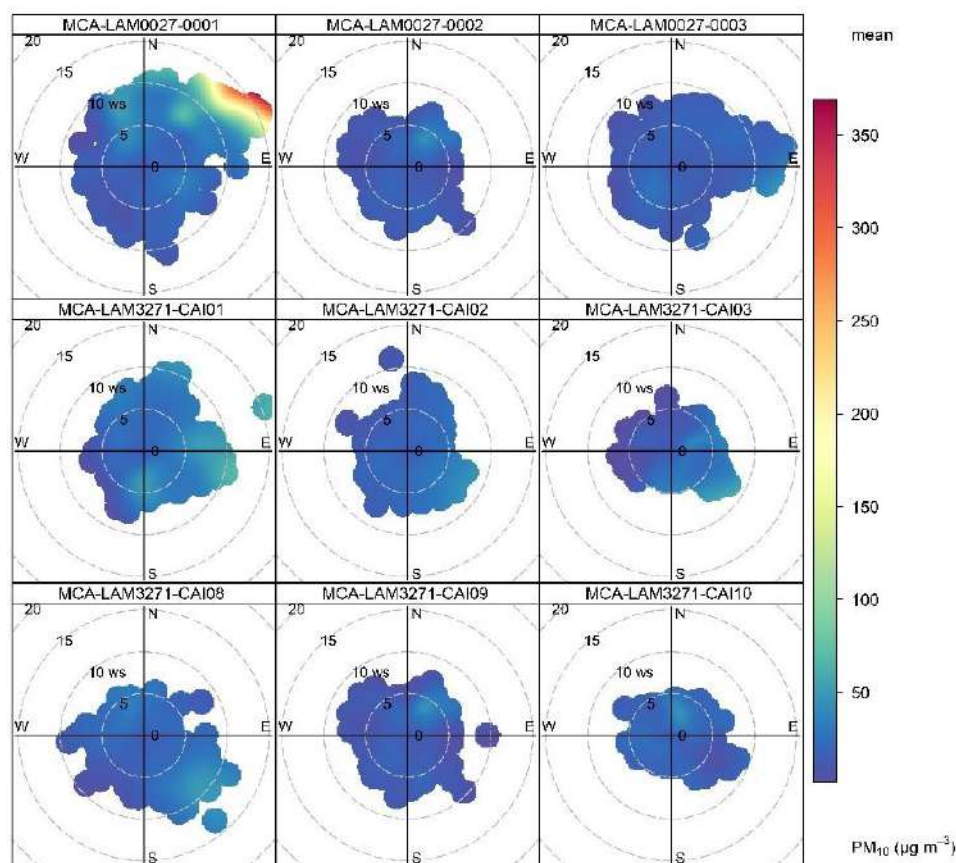
Fuente: ANLA - SIPTA, a partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales, 2025
Figura 12. Gráficos polares anulares para las estaciones de calidad del aire ($PM_{2.5}$) en 2024

Respecto al material particulado $PM_{2.5}$, en el transcurso del día se registraron concentraciones que oscilan en el rango de 5 a $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las concentraciones más bajas ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se presentan en horas de la tarde (12 a 16 horas), mientras que las concentraciones más altas ($>13 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ocurren entre las 0 y 8 horas y cercano a las 23 horas. Las estaciones de monitoreo que presentan las concentraciones más altas ($>13 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y las direcciones de donde provienen estas, son al noroeste de la estación MCA-LAM3271-CAI10 ubicada al sur del polígono licenciado del proyecto LAM3271, y MCA-LAM3271-CAI08 en donde aproximadamente a 60 metros en dirección noreste se ubica la salida con una vía destapada de tres (3) viviendas rurales. Lo anterior, podría ser una fuente aportante a la emisión, esta última también ubicada en el polígono el área licenciada.





Al sustituir en los diagramas anulares la variable hora del día por la velocidad del viento, se obtienen los diagramas polares, los cuales permiten analizar la relación entre la dirección y la intensidad del viento con las concentraciones del contaminante. En el caso del PM_{10} , para la estación de monitoreo MCA-LAM0027-0001 durante el año 2024, se observan concentraciones elevadas cuando la velocidad del viento supera los 6 m/s provenientes de la dirección noreste, lo que sugiere la influencia de fuentes de emisión ubicadas a mayor distancia. Cabe señalar que, esta estación se encuentra rodeada por actividades mineras en la mayoría de las direcciones, con excepción del suroeste; particularmente, hacia el noreste, a aproximadamente 8 km de distancia, se localiza un área de explotación minera, la cual podría estar asociada con las concentraciones registradas.

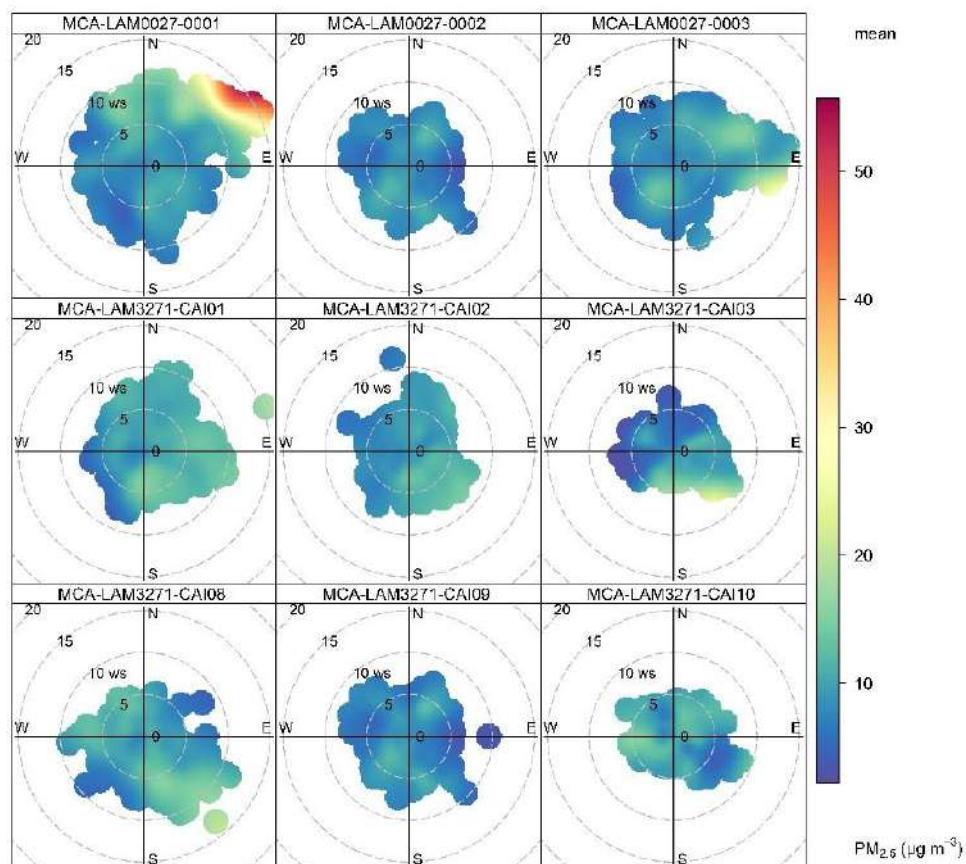


Fuente: ANLA - SIPTA, a partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales, 2025

Figura 13. Gráficos polares para las estaciones de calidad del aire (PM_{10}) en 2024

El material particulado $PM_{2.5}$ (Figura 14), presentó un comportamiento similar al PM_{10} en la estación de monitoreo MCA-LAM0027-0001 para el año 2025. Se observan altas concentraciones, cuando la velocidad del viento supera los 6 m/s desde la dirección noreste. Para la estación MCA-LAM0027-0003 y MCA-LAM3271-0003, se presentan concentraciones moderadas del contaminante cuando la velocidad del viento supera los 6 m/s desde la dirección este, lo cual se encuentra atribuido a la influencia de fuentes de emisión lejanas.





Fuente: ANLA - SIPTA, a partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales, 2025

Figura 14. Gráficos polares para las estaciones de calidad del aire (PM_{2.5}) en 2024

4.2.4. Análisis de ciclos temporales

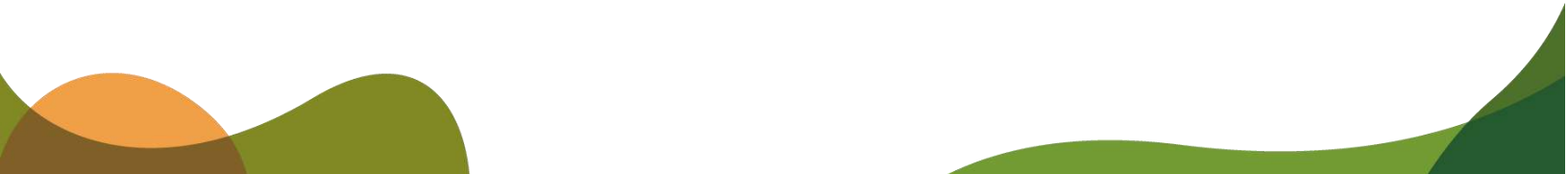
Dado que el análisis de ciclos temporales requiere registros horarios de calidad del aire y solo las estaciones con tecnología automática de los proyectos a cargo de la ANLA con expedientes LAM0027 y LAM3271 proporcionaron de esta manera la información, el análisis de ciclos temporales se realizó únicamente en las estaciones de monitoreo pertenecientes a dichos expedientes.

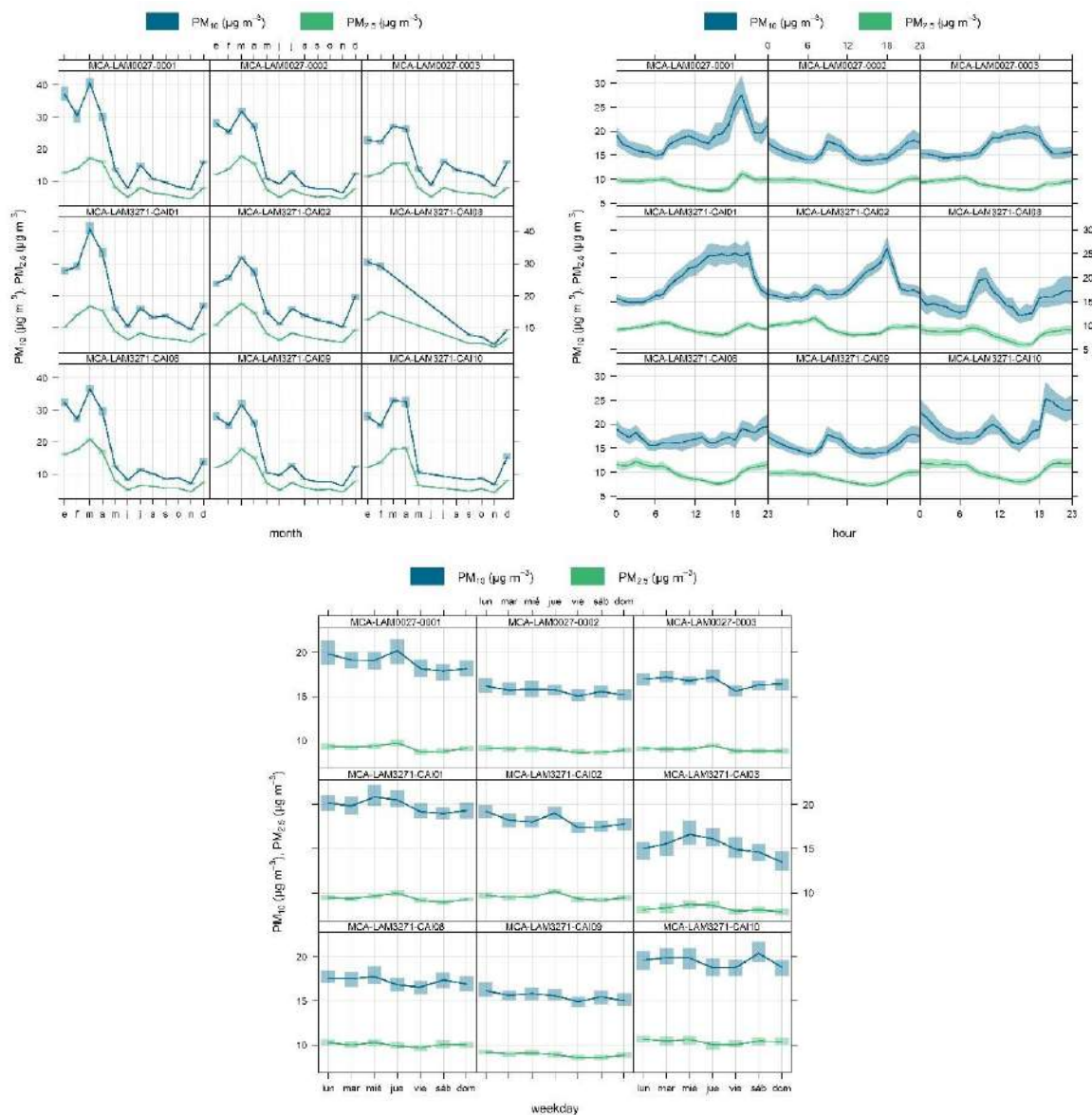
En el análisis de ciclos temporales que se muestra en la Figura 15, se verificaron las concentraciones de los contaminantes PM₁₀ y PM_{2.5}, con resultados del periodo de tiempo comprendido entre enero a diciembre del 2024. Los resultados se muestran en las siguientes situaciones: registros horarios separando mañana y tarde, el comportamiento semanal con datos diarios y los promedios mensuales del periodo de análisis. Finalmente, en las siguientes figuras se muestran las tendencias de las concentraciones, presentando el PM_{2.5} en color verde y PM₁₀ en azul. A continuación, se detallan los análisis de los diferentes ciclos temporales:



- Variación semanal: Se observa que los ciclos diarios de PM_{10} son heterogéneos, especialmente en días hábiles, y con una tendencia a disminuir los niveles de concentración en los fines de semana. Por su parte, los niveles de $PM_{2.5}$ son más estables a lo largo de la semana, manteniéndose en torno a $8 - 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Variación horaria: En PM_{10} se muestra un patrón dinámico con dos picos de concentración, el primero entre las horas 6:00 y 10:00, coincidiendo con el inicio de las actividades antrópicas y el tráfico vehicular; y el segundo entre las horas 18:00 y 22:00, asociado con el tráfico vehicular de la jornada nocturna. De igual manera, en $PM_{2.5}$ se observa dos picos de concentración en las mismas franjas horarias presentadas para el PM_{10} , aunque con una variación de menor intensidad.
- Variación mensual: Se observa que las mayores concentraciones tanto de PM_{10} como de $PM_{2.5}$ se registran en los primeros meses del año (enero a marzo) dadas las condiciones de temporada seca que favorecen la acumulación del material particulado. En los meses intermedios, las concentraciones disminuyen por el inicio de la temporada de lluvias y la alta humedad que facilitan la remoción de partículas. En los últimos meses los niveles aumentan, influenciados por la reducción de lluvias, el incremento de las actividades industriales y el tráfico vehicular, así como la intensificación de otras fuentes en el marco de las festividades como la pirotecnia y la quema de biomasa.

A partir de lo anterior, es posible determinar que el material particulado grueso (PM_{10}) predomina en el área de estudio, siendo atribuido a la re-suspensión del polvo del tráfico vehicular y a las actividades industriales cercanas a las estaciones de monitoreo. Por su parte, el material particulado fino ($PM_{2.5}$) al presentar una variación más homogénea se asocia a la quema de combustibles y/o de biomasa.





Fuente: ANLA - SIPTA, a partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales, 2025

Figura 15. Tendencias temporales de las estaciones de calidad del aire en 2024.

4.2.5. Análisis del Índice de Calidad del Aire – ICA

El análisis de los índices de Calidad de Aire (ICA) diarios de PM₁₀ y PM_{2.5} establecidos en el Capítulo IV de la Resolución No. 2254 del 01 de noviembre de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se presenta a continuación para cada expediente y punto de monitoreo analizado. Al respecto, es importante destacar que, de acuerdo con la resolución anterior, el índice de calidad del aire se encuentra asociado con los siguientes efectos.





Tabla 5. Descripción general del Índice de Calidad del Aire

RANGO	COLOR	ESTADO DE LA CALIDAD DEL AIRE	EFFECTOS
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.
101-150	Naranja	Dañina a la salud de grupos sensibles	Los grupos poblaciones sensibles pueden presentar efectos sobre la salud. 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 cardíaca o pulmonar, los adultos mayores y los niños se consideran sensibles y por lo tanto en mayor riesgo.
151-200	Rojo	Dañina para la salud	Todos los individuos pueden comenzar a experimentar efectos sobre la salud. Los grupos sensibles pueden experimentar efectos más graves para la salud.
201-300	Púrpura	Muy Dañina para la salud	Estado de alerta que significa que todos pueden experimentar efectos más graves para la salud.
301 – 500	Marrón	Peligroso	Advertencia sanitaria. Toda la población puede presentar efectos adversos graves en la salud humana y están propensos a verse afectados por graves efectos sobre la salud.

Fuente: Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Cabe precisar que, la totalidad de las figuras que exponen de manera diaria las categorías ICA registradas en las estaciones de monitoreo se presentan en el *Anexo: Índices de Calidad del Aire*, en el apartado final de este documento.

4.2.5.1. ICA - Material particulado PM_{10}

La Figura 16 presenta la distribución porcentual de las categorías ICA de PM_{10} en las estaciones de monitoreo que hacen parte de la estrategia de monitoreo y del SEVCA-ZMC de CORPOCESAR para el año 2024.





Fuente: ANLA – SIPTA, a partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales y del SEVCA ZMC CORPOCESAR en SISAIRES, 2024

Figura 16. Índices de calidad del aire de 2024 ICA PM₁₀

De acuerdo con lo anterior, se observa que la mayor parte de las estaciones de monitoreo evaluadas presentan una alta proporción en la categoría “Buena”, con porcentajes superiores al 90 %. Por otro lado, existen estaciones que muestran una fracción significativa de días dentro de la categoría “Aceptable”, con un porcentaje superior al 15 %, siendo estas ZM01 Loma Centro, ZM20 Costa Hermosa, ZM13 El Hatillo, ZM06 Boquerón y ZM03 Loma 2 pertenecientes al SEVCA-ZMC de CORPOCESAR.



Finalmente, solo la estación ZM01 Loma Centro reporta valores en la categoría “Dañina a la salud de grupos sensibles” con el 0.8 % de los días y registrado en el mes de abril.

La predominancia de la categoría "Buena" refleja condiciones favorables de calidad del aire de PM₁₀ en la mayoría de las estaciones, lo que implica un riesgo mínimo para la salud de la población general. Sin embargo, la presencia significativa de categorías "Aceptables" en algunas zonas podría afectar a grupos sensibles, como personas con enfermedades respiratorias, niños y adultos mayores.

4.2.5.2. ICA - Material particulado PM_{2.5}

La Figura 17 presenta la distribución porcentual de las categorías ICA de PM_{2.5} en las estaciones de monitoreo que hacen parte de la estrategia de monitoreo y del SEVCA-ZMC de CORPOCESAR para el año 2024.

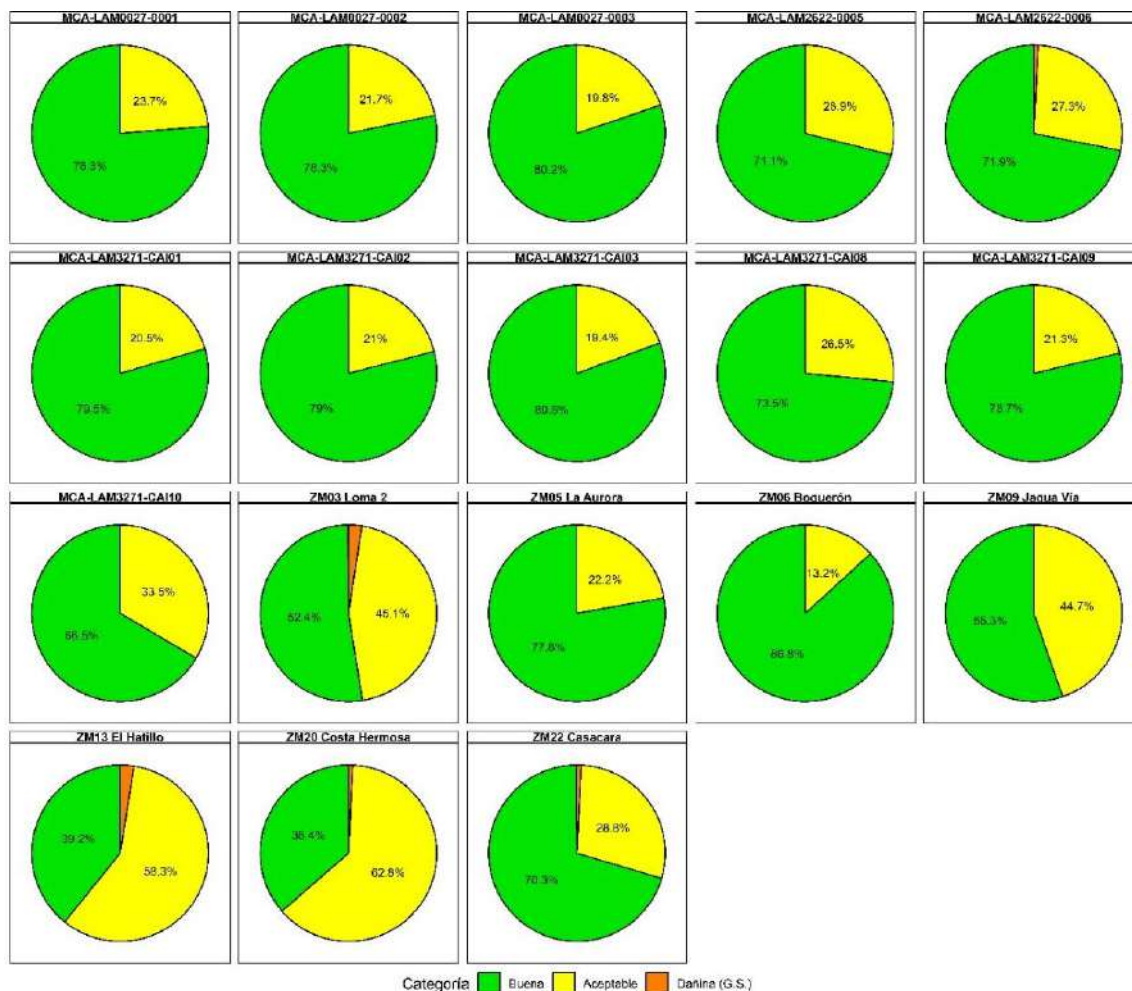
Se observa que en la mayoría de las estaciones predomina la categoría “Buena”, destacándose en las estaciones ZM06 Boquerón, MCA-LAM3271-CAI03, MCA-LAM0027-0003, MCA-LAM3271-CAI01 y MCA-LAM3271-CAI02, las cuales reflejan condiciones atmosféricas saludables durante la mayor parte del año.

Por otro lado, se identifican las estaciones MCA-LAM2622-0005, MCA-LAM2622-0006, MCA-LAM3271-CAI08, MCA-LAM3271-CAI10, ZM03 Loma 2, ZM09 Jagua Vía, ZM13 El Hatillo, ZM20 Costa Hermosa y ZM22 Casacará, con un porcentaje diario significativo en la categoría “Aceptable”, implicando un riesgo moderado para algunos grupos vulnerables o sensibles.

A su vez, se registran niveles categorizados como “Dañina a la salud de grupos sensibles” sin ser mayor al porcentaje diario de 2.5 % en las estaciones MCA-LAM2622-0006, ZM03 Loma 2, ZM13 El Hatillo, ZM20 Costa Hermosa y ZM22 Casacará.

En definitiva, las estaciones ZM13 El Hatillo, ZM20 Costa Hermosa, ZM03 Loma 2 y ZM09 Jagua Vía presentan el menor desempeño en términos de condiciones de calidad del aire de PM_{2.5}, al registrar los menores porcentajes en la categoría “Buena”.





Fuente: ANLA – SIPTA, a partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales y del SEVCA ZMC CORPOCESAR en SISAIRE, 2024

Figura 17. Índices de calidad del aire de 2024 ICA PM_{2.5}

4.2.6. Actuaciones judiciales y procesos sancionatorios asociados al componente atmosférico en el área de la estrategia de monitoreo

En el marco del licenciamiento ambiental, dentro de la estrategia de monitoreo para La Zona Minera del Centro del Cesar, resulta pertinente revisar y analizar las actuaciones judiciales y los procesos sancionatorios vigentes en los expedientes objeto de análisis en el presente documento, adelantados por la ANLA en ejercicio de sus competencias, particularmente en lo relacionado con el componente atmosférico de calidad del aire.

Las órdenes judiciales corresponden a decisiones emitidas por autoridades competentes, orientadas a la protección de derechos fundamentales y colectivos, así como a la salvaguarda de territorios y comunidades. En el área de estudio, los procesos sancionatorios corresponden a actuaciones administrativas adelantadas por la autoridad ambiental, dirigidas a investigar y, de ser el caso, sancionar presuntos incumplimientos de la

normatividad ambiental vigente. Sin embargo, al revisar el Sistema de Información de Licencias Ambientales (SILA), para la Zona Minera del Centro del Cesar no se registran procesos sancionatorios en lo concerniente al componente atmosférico (calidad del aire).

4.2.7. Modelación de dispersión de material particulado PM₁₀ y PM_{2.5}

Con el propósito de analizar desde una visión regional el estado de la calidad del aire en la Zona Minera del Cesar, considerando los proyectos licenciados activos, desde el Centro de Monitoreo de los Recursos Naturales de la ANLA se desarrolló un modelo regional de dispersión de material particulado PM₁₀ y PM_{2.5}, con registros de variables meteorológicas y de emisiones atmosféricas asociados al Informe de Cumplimiento Ambiental del año 2022 y 2023, según la información disponible de proyectos que desarrollan actividades mineras contemplados a continuación.

Tabla 6. Proyectos incluidos en modelación de La Guajira

ACTIVIDAD	PROYECTO/FUENTE	EXPEDIENTE	ESCENARIO	INVENTARIO EMISIONES
PROYECTOS MINEROS	La Loma – Pribbenow	LAM0027	Estado Actual	ICA – 2023
	La Jagua	LAM1203	Estado Actual	ICA – 2022*
	El Hatillo	LAM1862	Estado Actual	ICA – 2023
	Calenturitas	LAM2622	Estado Actual	ICA – 2022*
	La Francia	LAM3199	Estado Actual	ICA – 2023
	El Descanso, Similoa y Rincon Hondo	LAM3271	Estado Actual	ICA – 2023

* Se contemplaron la información reportada del Informe de Cumplimiento Ambiental del año 2022, debido que no fue posible integrar la información de los productos de modelación del año 2023.

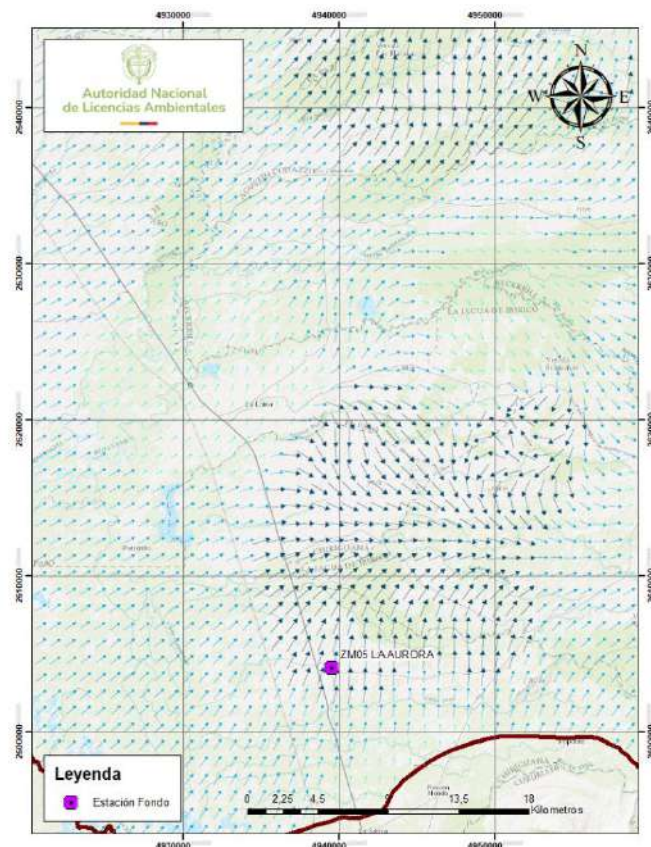
Fuente: ANLA - SIPTA, Documento técnico modelo de dispersión de emisiones contaminantes de PM₁₀-PM_{2.5} para la Zona Minera del Cesar. ANLA, 2025

En el desarrollo del ejercicio de modelación se identificaron las siguientes restricciones o limitaciones, en la medida en que no se incluyeron otras fuentes de emisión de material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}) presentes en el área de estudio que no se encuentran bajo la competencia de control y seguimiento de la ANLA, tales como:

- Las vías públicas pavimentadas y o en afirmado.
- Quema de basura y biomasa en la región.
- Ingreso de otras fuentes externas de contaminación de material particulado.

Para la determinación de la concentración de fondo se tomó como referencia la estación ZM05 – La Aurora, considerando que, la dinámica de los vientos predomina del sector sur (S) al norte (N) y suroeste (SW) al noreste (NE), indicando que la estación refleja el criterio vientos abajo que representan baja influencia de la actividad minera.

Cuenta con información de los contaminantes PM_{10} y $PM_{2.5}$ permitiendo establecer en la misma ubicación la caracterización del material particulado presente en el área de estudio.



Fuente: ANLA – SIPTA, a partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales y del SEVCA ZMC CORPOCESAR en SISAIRE, 2025

Figura 18. Localización de la estación de fondo utilizada con información de concentración de fondo



El criterio estadístico contemplado corresponde al percentil 50 o mediana de la serie temporal del año 2023, lo que refleja el dato central asociado a la variabilidad de los datos presentando las siguientes concentraciones:

- Concentración de fondo PM₁₀: 8,9 µg/m³
- Concentración de fondo PM_{2,5}: 3,5 µg/m³

Frente a los resultados, se obtuvieron las siguientes concentraciones sobre las coordenadas de localización de estaciones de calidad del aire del SEVCA de CORPOCESAR y del SVCA tipo Industrial asociado a la estrategia de monitoreo de la Zona Minera del Cesar, denominadas como receptores discretos (Tabla 7 y Tabla 8).

Tabla 7. Concentraciones anuales sobre receptores discretos PM₁₀

ESTACIONES	RESULTADOS MODELACIÓN PM ₁₀ µg/m ³	RESULTADOS SVCA PM ₁₀ µg/m ³
MCA-LAM3271- CAI01	19,5	19,7
MCA-LAM3271- CAI02	11,5	18,1
MCA-LAM3271- CAI03	53,6	14,9
MCA-LAM3271- CA08	17,3	17,1
MCA-LAM3271- CA10	14,1	19,2
MCA-LAM0027-01	32,0	18,8
MCA-LAM0027-02	27,8	15,5
MCA-LAM0027-03	17,6	16,5
MCA-LAM2622-0005	26,5	27,0
MCA-LAM2622-0006	43,4	26,1
ZM01 LA LOMA CENTRO	20,4	42,3
ZM02 LA JAGUA CENTRO	9,7	28,4
ZM03 LA LOMA 2	39,9	32,9
ZM04 LA PALMITA	11,1	25,2
ZM05 LA AURORA	21,5	25,3
ZM06 BOQUERON	15,5	36,7
ZM09 LA JAGUA VÍA	9,9	28,8
ZM12 RINCÓN HONDO	11,0	30,8
ZM13 EL HATILLO	42,6	37,5
ZM15 CHIRIGUANA	13,2	31,8
ZM19 BECERRIL	9,8	32,6
ZM20 COSTA HERMOSA	40,5	42,7
ZM21 LA VICTORIA	8,6	24,4
ZM22 CASACARÁ	10,1	25,2

Fuente: ANLA - SIPTA, a partir del informe de modelación regional ZMCC. ANLA, 2025





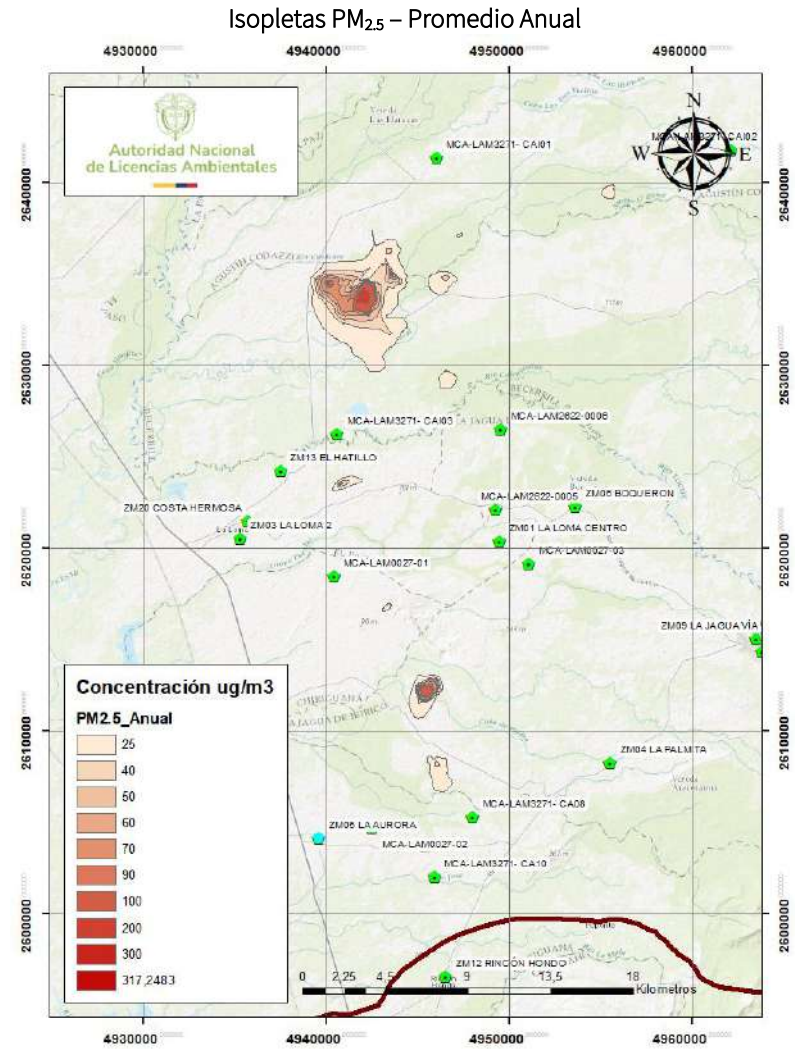
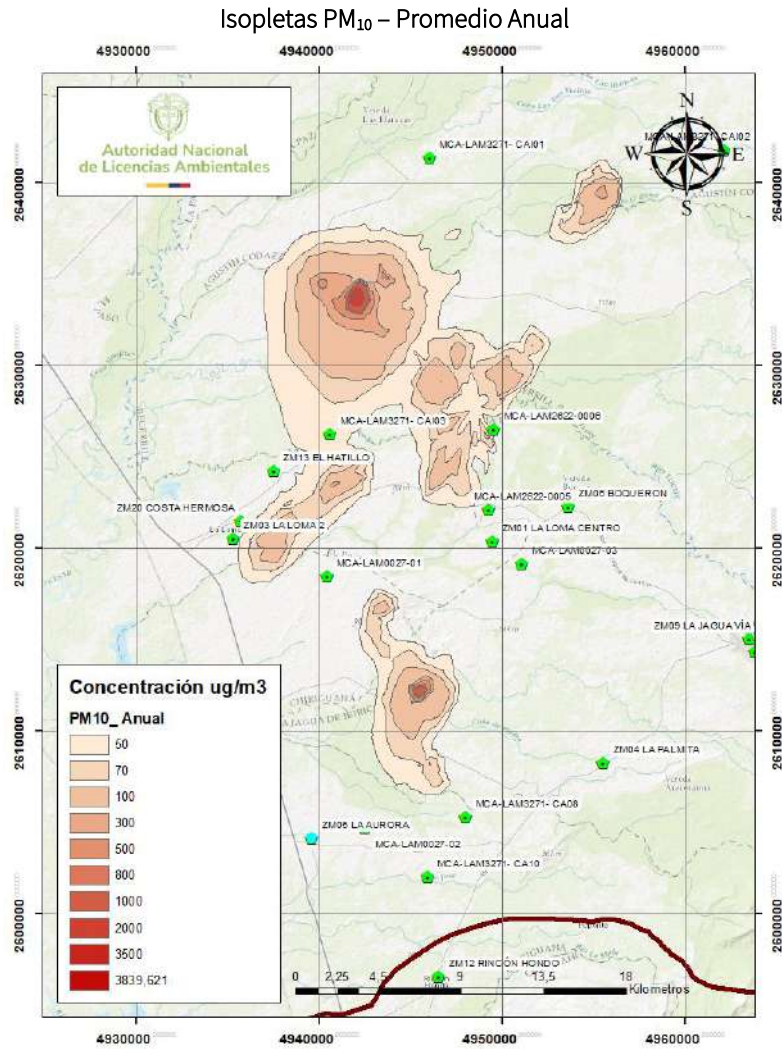
Tabla 8. Concentraciones anuales sobre receptores discretos PM_{2.5}

ESTACIONES	RESULTADOS MODELACIÓN - PM _{2.5} µg/m ³	RESULTADOS SVCA - PM _{2.5} µg/m ³
MCA-LAM3271- CAI01	5,6	9,3
MCA-LAM3271- CAI02	3,9	9,5
MCA-LAM3271- CAI03	10,5	8,1
MCA-LAM3271- CA08	5,4	10,0
MCA-LAM3271- CA10	4,7	10,3
MCA-LAM0027-01	7,2	9,1
MCA-LAM0027-02	7,2	8,9
MCA-LAM0027-03	4,8	9,0
MCA-LAM2622-0005	5,8	11,0
MCA-LAM2622-0006	7,5	11,5
ZM01 LA LOMA CENTRO	5,1	NR
ZM02 LA JAGUA CENTRO	3,7	NR
ZM03 LA LOMA 2	8,5	14,7
ZM04 LA PALMITA	3,9	NR
ZM05 LA AURORA	5,8	8,7
ZM06 BOQUERON	4,5	7,3
ZM09 LA JAGUA VÍA	3,7	14,0
ZM12 RINCÓN HONDO	4,0	NR
ZM13 EL HATILLO	8,8	17,5
ZM15 CHIRIGUANA	4,4	NR
ZM19 BECERRIL	3,7	NR
ZM20 COSTA HERMOSA	8,5	17,6
ZM21 LA VICTORIA	3,6	NR
ZM22 CASACARÁ	3,8	11,3

Fuente: ANLA - SIPTA, a partir del informe de modelación regional ZMCC. ANLA, 2025

El comportamiento de la modelación, para los contaminantes particulados emitidos por los proyectos mineros de la Zona Minera de Cesar (ZMC), indica que las concentraciones aportan mayor en el sector norte y noreste asociado a la operación del expediente LAM3271, LAM1862 y LAM3199. En el mismo sentido, un aporte en el sector central asociado al expediente LAM0027 resaltando que las máximas concentraciones están en las áreas de intervención de los proyectos dispersándose hasta el límite permitido anual de 50 µg/m³ entre 2 km y 9 km.





Fuente: ANLA - SIPTA, a partir del informe de modelación regional ZMCC. ANLA, 2025

Figura 19. Isoplethas de PM₁₀ y PM_{2.5} - Tiempo de exposición anual para la ZMCC (año 2023).



Con la finalidad de conocer los aportes de la modelación sobre la Zona Minera del Cesar se toma como referencia las concentraciones obtenidas en el SEVCA de CORPOCESAR en el año 2023, en el cual se identifica:

- Para el contaminante PM_{10} las concentraciones obtenidas en los receptores oscilaron entre $8,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ZM21 LA VICTORIA) y $53,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (MCA-LAM3271- CAI03), indicando que los aportes incluida la concentración del fondo son de baja a media magnitud en comparación al límite permisible anual de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ resaltando que la modelación en el punto más crítico presenta una excedencia de $3,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ representando un 7,2% aproximadamente. Sin embargo, este comportamiento se asocia a la incertidumbre de la información de entrada y limitaciones del modelo, toda vez que tal como se observa en la Tabla 7, muestran que los resultados obtenidos del monitoreo continuo que se realiza sobre este receptor esta sobre los $14,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Para el contaminante $PM_{2,5}$ las concentraciones obtenidas en los receptores oscilaron entre $3,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ZM21 LA VICTORIA) y $10,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (MCA-LAM3271- CAI03), indicando que los aportes incluida la concentración del fondo son de baja magnitud en comparación al límite permisible anual de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, indicando que estos resultados, si bien presentan cumplimiento normativo, también se ve influenciado a los criterios mencionados para el contaminante PM_{10} .

Respecto a la evaluación de los resultados de la modelación frente a los datos del SEVCA de CORPOCESAR y del SVCA tipo industrial de la Zona Minera del Cesar, asociados a la estrategia de monitoreo, se observan errores porcentuales que oscilan entre el 1,2 % (MCA-LAM3271-CAI01) y el 79,2% (MCA-LAM0027-02). Adicionalmente, se resalta una diferencia significativa en una estación particular (MCA-LAM3271-CAI03), en la cual el modelo estima una concentración de $53,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ frente a un valor medido de $14,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esta diferencia puede atribuirse a variaciones locales en las condiciones de emisión del contaminante, la cercanía a las fuentes proyectadas o a las condiciones meteorológicas promedio utilizadas. No obstante, dado que esta discrepancia se presenta únicamente en dicha estación, los resultados generales para PM_{10} muestran una variación baja a moderada.

Estas diferencias pueden explicarse por la influencia de condiciones micrometeorológicas, los procesos de dispersión atmosférica y la proximidad entre los puntos de monitoreo y las fuentes de emisión consideradas en el modelo de dispersión AERMOD. En el caso del $PM_{2,5}$, se registró un error porcentual que oscila entre el 19,4% (MCA-LAM0027-02) y el 73,4% (ZM09 La Jagua Vía). En conjunto, estos resultados sugieren que la modelación integrada de la ZMC presenta un ajuste razonable frente a las condiciones de inmisión observadas en la red de monitoreo de calidad del aire, y que las variaciones identificadas pueden asociarse tanto a aportes de fuentes externas no consideradas en el modelo como a la incertidumbre derivada de las limitaciones en la información de entrada utilizada para la modelación.

Adicionalmente, se identificó que las estaciones MCA-LAM3271-CAI03, MCA-LAM2622-0006, MCA-LAM0027-01, MCA-LAM0027-02, ZM03 La Loma 2, ZM13 El Hatillo, MCA-LAM0027-03 y MCA-LAM3271 presentan concentraciones estimadas por la modelación superiores a las



registradas en el Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire. Esta diferencia es más significativa en la estación MCA-LAM3271-CAI03, localizada aproximadamente 7 km al sureste (SE) del centro poblado de La Loma.

Estas discrepancias pueden estar asociadas a factores como la representatividad espacial y temporal de la información utilizada como entrada en el modelo, incluyendo variables como la meteorología modelada mediante WRF y la topografía satelital SRTM1 con resolución de 30 metros, así como a los criterios estadísticos empleados para estimar la concentración de fondo, las limitaciones inherentes al modelo de dispersión AERMOD y las incertidumbres propias de las estaciones de monitoreo que utilizan equipos manuales, entre otros aspectos.

No obstante, se observa una desviación máxima de $38,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo cual indica una variación relativamente baja, sugiriendo que el modelo presenta un ajuste adecuado frente a las condiciones operativas observadas durante el año 2023.





5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El análisis de las concentraciones de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ en el área de la Estrategia de la Zona Minera del Centro del Cesar, entre enero de 2020 a diciembre del 2024 para la información del SEVCA-ZMC CORPOCESAR y de 2023 y 2024 para los proyectos con expediente: LAM0027, LAM2622 y LAM3271, evidenciaron que a nivel general los contaminantes se encuentran en cumplimiento normativo.
2. Frente al SEVCA-ZMC CORPOCESAR se evidenció que la misma cantidad de estaciones de monitoreo para PM_{10} , se mantienen operando a lo largo de los años. Sin embargo, para $PM_{2.5}$, en el 2020 se registró el contaminante en 12 estaciones, terminando con 7 para 2024. A pesar de lo anterior, el 84% de las estaciones para 2024 cumplieron el criterio de representatividad para ser analizados.
3. Se observó que las concentraciones más altas de material particulado asociadas a los parámetros PM_{10} y $PM_{2.5}$ se registraron en las estaciones del SEVCA-ZMC de CORPOCESAR en temporada seca que corresponde a los meses entre diciembre a marzo. Varias de las estaciones que registraron mayores concentraciones reportaron una tendencia a reducirlas entre los años 2020 a 2021. Sin embargo, en los años 2022 a 2024, las concentraciones de este contaminante repuntaron en algunas estaciones, sin llegar a superar los límites normativos. Esta situación puede estar relacionada con el retorno de las actividades antrópicas en la zona como el incremento del tráfico vial y las operaciones industriales. Entre el 73 % y el 82 % de las estaciones de los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire Industrial de los proyectos con expedientes LAM0027, LAM2622 y LAM3271, registraron concentraciones bajas de PM_{10} (menores a $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y entre el 64 % y el 82 % registraron concentraciones bajas de $PM_{2.5}$ (menores a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) durante los años 2023 y 2024, según los datos disponibles. Estas concentraciones se encuentran por debajo de los niveles máximos permisibles establecidos en la Resolución No. 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. No obstante, para establecer una tendencia multitemporal más robusta, se requiere contar con un mayor volumen de datos a lo largo del tiempo.
4. Todas las estaciones evidenciaron una distribución normal de los datos, considerando las medias aritméticas de los registros reportados por el SEVCA-ZMC de CORPOCESAR. Durante el periodo comprendido entre 2020 y 2024, se determinaron valores promedio entre 16 y $45,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y entre 2,7 y $26,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $PM_{2.5}$. Por su parte, para los proyectos bajo seguimiento de la ANLA, en el periodo 2023–2024, el expediente LAM0027 registró medias entre 15,8 y $18,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y entre 8,0 y $9,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $PM_{2.5}$; el LAM2622 presentó valores entre 26,1 y $28,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y entre 11,0 y $14,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $PM_{2.5}$; y, finalmente, el LAM3271 registró medias entre 15,2 y $20,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y entre 7,9 y $10,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $PM_{2.5}$.
5. Los datos de PM_{10} en las estaciones y años analizados, en las medianas o percentiles 50 se encuentran por debajo del nivel máximo permisible de $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$. No obstante,



si bien la tendencia general es de cumplimiento, se presentaron algunas excedencias en estaciones de monitoreo, especialmente en el Sistema Especial de Vigilancia de la Calidad del Aire de CORPOCESAR. Adicionalmente, solo la estación de monitoreo denominada MCA-LAM3271-CAI08 del proyecto LAM3271 registró datos esporádicos que superaron el estándar normativo asociado al tiempo de exposición diario.

6. Las excedencias identificadas de PM_{10} en datos diarios o 24 horas se presentaron en los cinco años del periodo de análisis de las estaciones del SEVCA-ZMC de CORPOCESAR con un porcentaje de excedencia de 0.8 % (ZM02 Jagua Centro-2022-2024) y del 14.44 % (ZM21 La Victoria -2020), mientras que para las estaciones de los proyectos licenciados por la ANLA (para los cuales se contó con información disponible) se tiene que, en el año 2023 para la estación MCA-LAM3271-CAI08 del expediente LAM3271 se presentó una excedencia del 0,9 %, mientras que para el año 2024 se observó que los datos atípicos que exceden los niveles de referencia corresponden a las estaciones con código MCA-LAM0027-0001 y MCA-LAM2622-0005 con un porcentaje de excedencia inferior al 1,7 %. Por tanto, se recomienda que en el seguimiento de cada proyecto se validen la existencia de condiciones atípicas que promuevan excedencias para reforzar la aplicación de medidas de reducción del material particulado en la zona aledaña a este punto de monitoreo.
7. Los resultados de los datos anuales del parámetro PM_{10} muestran cumplimiento normativo del estándar permisible de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en los proyectos a cargo de la ANLA. Esto también sucedió, en la mayoría de las estaciones del Sistema Especial de Vigilancia de la Calidad del Aire (SEVCA-ZMC) de CORPOCESAR.
8. Los resultados evidenciaron que el parámetro $PM_{2.5}$ presentó cumplimiento normativo de los niveles máximos permisibles a 24 horas de $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y anual de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en los proyectos a cargo de la ANLA con excepción de la estación MCA-LAM2622-0006 en la que se presentó excedencia en un día de muestreo. Por tanto, y considerando particularmente lo reportado por el Sistema Especial de Vigilancia de la Calidad del Aire (SEVCA) de CORPOCESAR, se debe validar si los registros en temporalidad diaria que presentan excedencias corresponden a valores atípicos o alguna situación específica de las estaciones, que amerite la implementación de medidas adicionales. Lo anterior, muestra la necesidad de continuar con la estrategia de monitoreo para continuar la recopilación de datos y consolidar la base de datos que confirmen la tendencia de la calidad del aire en la zona y la posible o no influencia de los proyectos mineros en seguimiento.
9. Los análisis de las tendencias de las concentraciones según la hora del día y la dirección del viento evidencia, en términos generales, bajas concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ provenientes de todas las direcciones durante la madrugada y las primeras horas de la mañana (00:00 a 08:00 horas). A partir de las 08:00 horas se observa un incremento progresivo en las concentraciones de estos contaminantes, alcanzándose los valores más altos entre las 16:00 y las 23:00 horas. Adicionalmente, el comportamiento de las concentraciones de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) sugiere la influencia de fuentes de emisión ubicadas a mayor distancia, particularmente cuando se presentan velocidades del viento superiores a 6 m/s. Esto



permite inferir que los resultados de los monitoreos reflejan la inmisión de emisiones tanto de fuentes cercanas a los puntos de monitoreo como de fuentes más alejadas, dentro de un contexto regional en el que las extensas áreas asociadas a actividades mineras pueden influir en la calidad del aire

10. Respecto al Índice de Calidad del Aire (ICA) de PM_{10} , se identificó que, la mayoría de los registros en 2024, presentaron un comportamiento cuyas concentraciones se categorizan como “Buena”, y datos esporádicos en la categoría “Aceptable”, lo cual refleja condiciones favorables de calidad del aire en términos de PM_{10} .
11. Frente al ICA de $PM_{2.5}$, las estaciones ZM13 El Hatillo, ZM20 Costa Hermosa, ZM03 Loma 2 y ZM09 Jagua Vía del SEVCA de CORPOCESAR presentan considerables porcentajes diarios categorizados como “Aceptables” al exponer niveles de concentración entre 13 y 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, especialmente durante el primer trimestre del año, lo cual requiere intensificar las diferentes acciones planteadas en las medidas de prevención y/o mitigación en dicho periodo y en las zonas cercanas a estas estaciones.
12. Los resultados de la modelación con relación a las estaciones de monitoreo de calidad del aire indican que, el contaminante PM_{10} presenta concentraciones entre 8,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 53,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y el contaminante $PM_{2.5}$ las concentraciones oscilaron entre 3,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 10,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para las estaciones ZM21 LA VICTORIA y MCA-LAM3271- CAI03 respectivamente. Este comportamiento refleja que los valores de la concentración del fondo son de baja magnitud en comparación al límite permisible anual de cada contaminante y que la excedencia normativa de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} corresponde incertidumbre de la información de entrada y limitaciones del modelo asociado a que la estación MCA-LAM3271- CAI03 a través del monitoreo continuo presentó una concentración de 14,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
13. Frente al análisis de aportes sobre el SEVCA de CORPOCESAR se identificó que el error osciló entre 1% al 80%. Este comportamiento refleja que los resultados del modelo en relación con la medición de calidad del aire son de baja y moderada magnitud indicando cumplimiento normativo. Asimismo, es importante indicar que se cuenta con una condición extrema del 256% en la estación MCA-LAM3271- CAI03 para el contaminante PM_{10} , donde el modelo determina una concentración superior en un valor de 2.5 veces a la concentración obtenida en la medición y se debe a diferentes consideraciones como la influencia de condiciones micro meteorológicas, fenómenos de dispersión, cercanía de cada punto de medición a las fuentes de emisión, condiciones externas o exógenas al proceso minero y limitaciones e incertidumbre del modelo Aermod.
14. En relación con el análisis del fenómeno de dispersión de contaminantes atmosféricos, la integración de los productos de modelación correspondientes a los proyectos mineros permitió establecer que el impacto acumulado se concentra principalmente en los sectores norte y centro de la región, asociado a los aportes de las minas El Hatillo, La Francia, El Descanso, Similoa y Rincón Hondo, conforme se evidencia en los mapas de isopletas de PM_{10} y $PM_{2.5}$. A partir de esta espacialización



se concluye que las medidas de control y reducción de emisiones atmosféricas previstas en los Planes de Manejo Ambiental de cada proyecto deben aplicarse con estricto rigor, con el fin de disminuir los niveles de contaminación. Asimismo, el seguimiento a través del SELA resulta fundamental para verificar la efectividad de dichas medidas e identificar oportunamente las acciones necesarias para garantizar adecuadas condiciones de calidad del aire.

15. Es importante establecer que los resultados de la modelación soportan la ubicación de las estaciones establecidas en la estrategia de monitoreo de la ANLA sobre la ZMC debido que localizan en áreas con aportes significados por expediente y en entornos con baja influencia de aportes atmosféricos.

Finalmente, para el desarrollo de las siguientes versiones de esta modelación se recomienda contemplar:

- a. Contemplar en la configuración del modelo Aermod las condiciones de terreno (modelo digital de elevación) ajustado a la topografía de los proyectos mineros para disminuir la incertidumbre en el fenómeno de dispersión.
- b. En relación con el inventario de emisiones, se establece que los expedientes integran medidas de manejo y control de emisiones atmosféricas que fueron consideradas en el proceso de modelación. En tal sentido, dichas medidas deben mantenerse y aplicarse de manera continua, con el fin de garantizar que los niveles de inmisión se mantengan bajos, tal como se evidenció en los resultados de la modelación y en los registros del SEVCA de CORPOCESAR.



6. BIBLIOGRAFIA

CORPOCESAR (2025). Informes de operación del Sistema Especial de Vigilancia de Calidad del Aire de CORPOCESAR. Informes anuales 2020 a 2024. Disponibles en: <https://monitoreo.gndelectronics.com/app/dashboards/public/dashboard/8Fj73LKVgOznRwmEsEtaXGPE-0agch4iCxBjMEm1buY?navbar=true&contextbar=false>

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE (MADS), 2017. Resolución 2254 de 01 de noviembre de 2017. Norma de Calidad de Aire de Ambiente. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/documento-entidad/resolucion-2254-de-2017/>

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE (MADS), 2010. Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire. Resolución 651 de 2010 y Resolución 2154 de 2017. <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/contaminacion-atmosferica/>

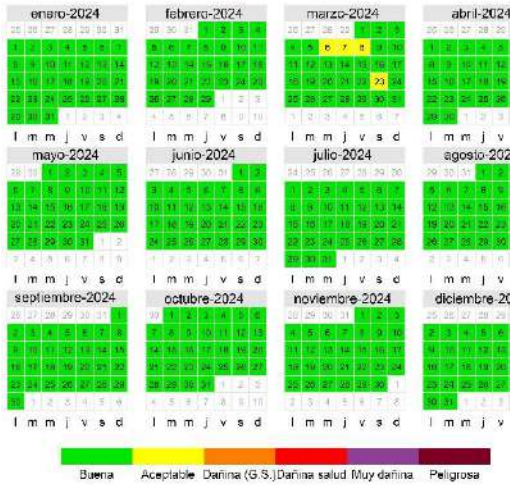
R Core Team (2024). *_R: A Language and Environment for Statistical Computing_*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Subsistema de Información sobre Calidad del Aire – SISAIRE. Disponible en: <http://sisaire.ideam.gov.co/ideam-sisaire-web/consultas.xhtml>

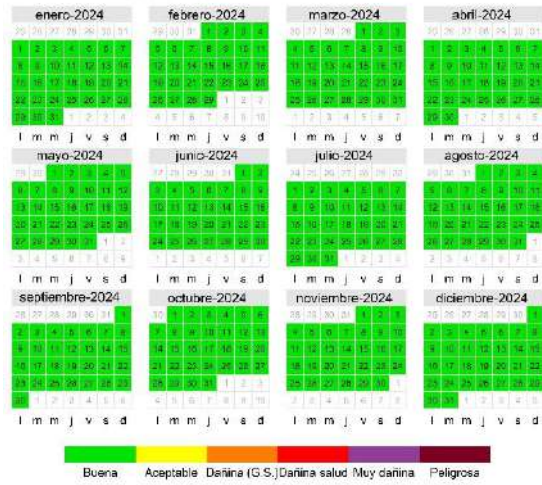


- Expediente LAM3271 (2024)

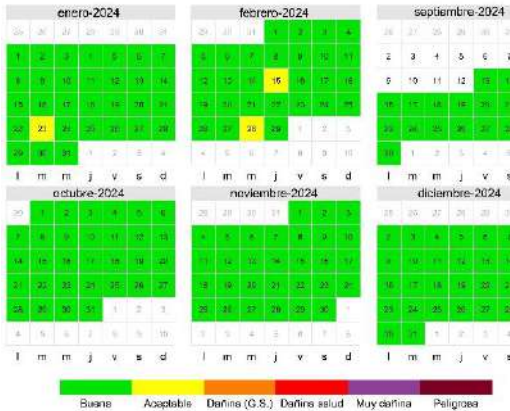
PM₁₀ (µg m⁻³) MCA-LAM3271-CAI01 2024



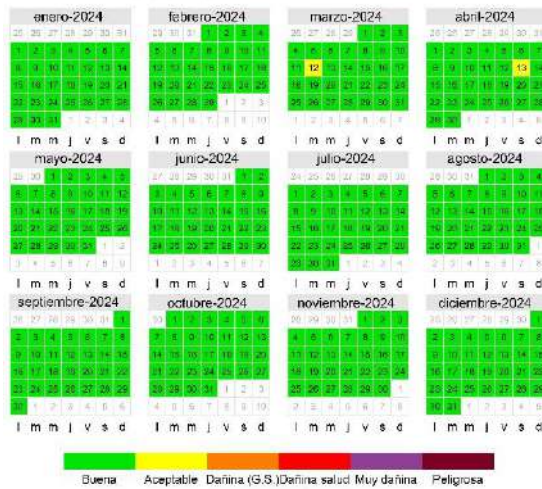
PM₁₀ (µg m⁻³) MCA-LAM3271-CAI02 2024



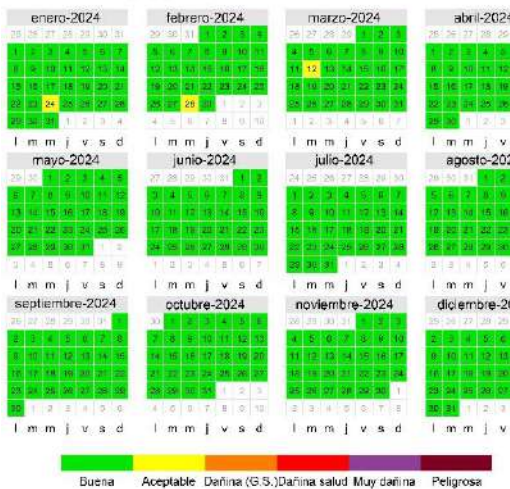
PM₁₀ (µg m⁻³) MCA-LAM3271-CAI03 2024



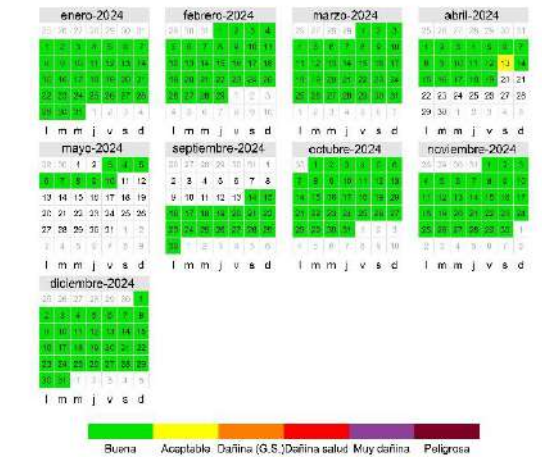
PM₁₀ (µg m⁻³) MCA-LAM3271-CAI08 2024

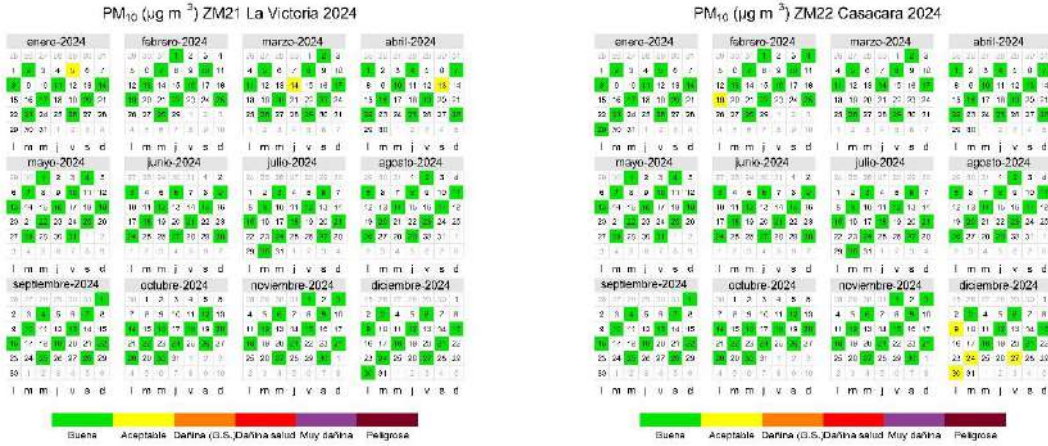


PM₁₀ (µg m⁻³) MCA-LAM3271-CAI09 2024



PM₁₀ (µg m⁻³) MCA-LAM3271-CAI10 2024





Fuente: ANLA – SIPTA, a partir de los datos del SEVCA ZMC CORPOCESAR en SISAIRE, 2025
 Figura 20. Índices de calidad del aire de 2024 ICA PM₁₀ – SEVCA ZMC CORPOCESAR

- SEVCA ZMC – CORPOCESAR: PM_{2.5} (2024)

