



Autoridad Nacional
de Licencias Ambientales

INFORME DEL ESTADO DE LOS RECURSOS NATURALES: ANÁLISIS DEL ESTADO DE LA CALIDAD DEL AIRE DE LOS SVCA FIJOS EN LA GUAJIRA, COLOMBIA, (2020 – 2024)

*Aplicación de la Fase IV de la estrategia de monitoreo:
análisis de información*

AGOSTO 2025

Irene Vélez Torres
Directora 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
Análisis Regional

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

Juan Pablo Ayala Robayo
Líder
Componente atmosférico

Javier Beltrán Maldonado
Neidy Mildred Daza Lesmes
Jaime Andrés Fajardo Rodríguez
William Pabón
Profesionales
Componente atmosférico



CONTENIDO

1.	GLOSARIO DE SIGLAS.....	5
2.	INTRODUCCIÓN.....	6
3.	DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MONITOREO	7
3.1.	CONDICIONES DE LUGAR	8
3.2.	CONDICIONES DE TIEMPO	10
3.3.	CONDICIONES DE MODO	10
4.	ANÁLISIS DEL ESTADO DE LA CALIDAD DEL AIRE.....	11
4.1.	INFORMACION ANALIZADA	11
4.2.	RESULTADOS	14
4.2.1.	Análisis históricos de material particulado	14
4.2.2.	Comportamiento de la velocidad y de la dirección del viento.....	26
4.2.3.	Análisis conjunto de concentraciones de material particulado con el comportamiento del viento	29
4.2.4.	Análisis de ciclos temporales.....	33
4.2.5.	Análisis del Índice de Calidad del Aire – ICA.....	36
4.2.5.1.	ICA – Material particulado PM ₁₀	36
4.2.5.2.	ICA – Material particulado PM _{2,5}	38
4.2.6.	Actuaciones judiciales y procesos sancionatorios asociados al componente atmosférico en el área de la estrategia de monitoreo:.....	39
4.3.	MODELACIÓN DE DISPERSION DE MATERIAL PARTICULADO PM ₁₀ . PM _{2,5}	40
4.3.1.	PARAMETRIZACIÓN.	41
4.3.2.	RESULTADOS.....	42
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	51
6.	BIBLIOGRAFIA	56
	ANEXOS	58
	Representación gráfica del Índice de Calidad del Aire para cada estación de monitoreo del año 2024.....	58
	Expediente LAM1094	58
	Expediente LAM1179	65
	Expediente LAM3491	66
	CORPOGUAJIRA	67





TABLAS

Tabla 1. Proyectos en La Guajira con obligaciones asociadas a la estrategia de monitoreo atmosférica (calidad del aire) de la ANLA.....	7
Tabla 2. Coordenadas de las estaciones que forman parte de la estrategia de monitoreo atmosférica	9
Tabla 3. Fechas disponibilidad de información estaciones SVCA Fijos de la Guajira.....	11
Tabla 4. Cantidad de registros diarios de calidad del aire para para La Guajira	13
Tabla 5. Descripción general del Índice de Calidad del Aire	36
Tabla 6. Proyectos incluidos en modelación de La Guajira	40
Tabla 7. Estadísticos Concentraciones anuales sobre receptores discretos – Escenario Actual	42

FIGURAS

Figura 1. Localización de proyectos con estrategia de monitoreo en la Guajira	8
Figura 2. Registro histórico de captura de datos para el parámetro PM ₁₀	15
Figura 3. Registro histórico de captura de datos para el parámetro PM _{2,5}	16
Figura 4. Comportamiento histórico de los promedios mensuales de PM ₁₀	17
Figura 5. Comportamiento histórico de los promedios mensuales de PM _{2,5}	19
Figura 6. Diagramas de caja con la distribución de los promedios diarios de PM ₁₀	21
Figura 7. Tendencia temporal de las concentraciones diarias de PM ₁₀	22
Figura 8. Distribución de promedios diarios de PM _{2,5}	23
Figura 9. Tendencia temporal de las concentraciones diarias de PM _{2,5}	24
Figura 10. Rosas de viento para las estaciones de calidad del aire en 2022.....	26
Figura 11. Rosas de viento para las estaciones de calidad del aire en 2023.....	27
Figura 12. Rosas de viento para las estaciones de calidad del aire en 2024.....	28
Figura 13. Rosas de viento para las estaciones de calidad del aire en 2020-2024.....	29
Figura 14. Gráficos polares anulares para las estaciones de calidad del aire (PM ₁₀) de 2020-2024.....	30
Figura 15. Gráficos polares anulares para las estaciones de calidad del aire (PM _{2,5}) de 2020-2024.....	31
Figura 16. Gráficos polares anulares para las estaciones de calidad del aire (PM ₁₀) en 2022-2024.....	32
Figura 17. Gráficos polares anulares para las estaciones de calidad del aire (PM _{2,5}) en 2022-2024.....	33
Figura 18. Tendencias temporales de las estaciones de calidad del aire en 2024	35
Figura 19. Índices de calidad del aire de 2024 ICA PM ₁₀	37
Figura 20. Índices de calidad del aire de 2024 ICA PM _{2,5}	39





Figura 21. Comparación entre concentraciones modeladas y medidas de PM ₁₀ y PM _{2.5} en receptores sensibles.....	43
Figura 22. Top 20 receptores sensibles con mayor aporte de PM ₁₀ : Concentración (µg/m ³) ..	44
Figura 23. Top 20 receptores sensibles con mayor aporte de PM ₁₀ : Concentración (µg/m ³) y porcentaje de contribución, discriminados por expediente.....	45
Figura 24. Relación de aporte estaciones de monitoreo regional de PM ₁₀ : Concentración (µg/m ³) y porcentaje de contribución, discriminados por expediente.	45
Figura 25. Top 20 receptores sensibles con mayor aporte de PM _{2.5} : Concentración (µg/m ³) y porcentaje de contribución, discriminados por expediente.....	46
Figura 26. Relación de aporte estaciones de monitoreo regional de PM _{2.5} : Concentración (µg/m ³) y porcentaje de contribución, discriminados por expediente.	47
Figura 27. Isopletas PM ₁₀ y PM _{2.5} - Tiempo de exposición anual	49
Figura 28. Índices de calidad del aire de 2024 ICA PM ₁₀ – LAM1094	58
Figura 29. Índices de calidad del aire de 2024 ICA PM _{2.5} – LAM1094.....	62
Figura 30. Índices de calidad del aire de 2024 ICA PM ₁₀ – LAM1179	65
Figura 31. Índices de calidad del aire de 2024 ICA PM _{2.5} – LAM1179.....	65
Figura 32. Índices de calidad del aire de 2024 ICA PM ₁₀ – LAM3491	66
Figura 33. Índices de calidad del aire de 2024 ICA PM _{2.5} – LAM3491.....	66
Figura 34. Índices de calidad del aire de 2024 ICA PM ₁₀ – CORPOGUAJIRA.....	67
Figura 35. Índices de calidad del aire de 2024 ICA PM _{2.5} – CORPOGUAJIRA	67





1. GLOSARIO DE 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).

CORPOGUAJIRA: Corporación Autónoma Regional de La Guajira.

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.

SSP3-7.0 (SSP370): Escenario climático de altas emisiones y desigualdad regional.

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

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



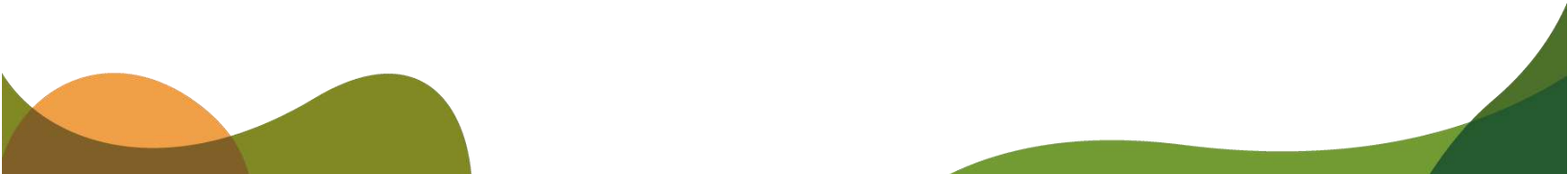


2. INTRODUCCIÓN

Este documento presenta el análisis de las concentraciones históricas de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ con el objetivo de evaluar el estado de la calidad del aire en el departamento de La Guajira. Para ello, se consideraron los registros históricos reportados por los Proyectos, Obras o Actividades (POA) en el marco de los procesos de seguimiento ambiental, correspondientes al período comprendido entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de diciembre de 2024, para los expedientes LAM1094, LAM3491 y LAM1179; cabe resaltar que el proyecto LAM2919 aún no ha reportado datos, razón por la cual en el último seguimiento se reiteró la solicitud de instalación y puesta en marcha del SVCA de carácter permanente.

Adicionalmente, se analizó la información proveniente del Sistema Especial de Vigilancia de la Calidad del Aire de la Corporación Autónoma Regional de La Guajira (CORPOGUAJIRA), obtenida a través del Subsistema de Información sobre Calidad del Aire (SISAIRE) del IDEAM, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2022 y el 2 de diciembre de 2024.

Cabe aclarar que la consulta en SISAIRE se realizó por última vez el 30 de junio de 2025, obteniendo datos disponibles hasta inicios del mes de diciembre de 2024.





3. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MONITOREO

Las estrategias de monitoreo regional de los recursos naturales liderada por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) tienen como objetivo optimizar el seguimiento de los proyectos objeto de licenciamiento ambiental, así como fortalecer el proceso de Evaluación de Impactos Acumulativos (EIAc), a través de la implementación 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 en implementación cuatro (4) estrategias de monitoreo regional: La Guajira, Corredor Portuario de Santa Marta, Alto San Jorge y Zona Minera del Centro del Cesar, las cuales abarcan un total de 18 proyectos con obligaciones específicas relacionadas con el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire.

En particular, a estrategia de monitoreo de La Guajira contempla obligaciones y/o medidas para los proyectos con actividades asociadas a minería de carbón, infraestructura y energía. Los proyectos no mineros fueron seleccionados con base en el potencial impacto que podrían generar sobre los niveles de inmisión de calidad de aire en términos de material particulado. Cabe destacar que existen operaciones de otros sectores que actualmente no están incluidas en esta estrategia de monitoreo, pero que se encuentran en proceso de evaluación para su posible incorporación, en función de los potenciales impactos identificados.

A continuación, se relacionan los proyectos incluidos en la estrategia de monitoreo (EM) de la Guajira:

Tabla 1. Proyectos en La Guajira con obligaciones asociadas a la estrategia de monitoreo atmosférica (calidad del aire) de la ANLA

Expediente	Titular	Proyecto	Acto Administrativo
LAM1094	CARBONES DEL CERREJON LIMITED	Explotación Carbonífera Del Cerrejón	Resolución 1108 de 24/06/2020 Resolución 2712 de 22/11/2023
LAM3491	CARBONES COLOMBIANOS DEL CERREJÓN S.A.S	Explotación De Carbón A Cielo Abierto – Mina Caypa	Resolución 1622 14/09/2021
LAM1179	GECELCA S.A. E.S.P.	Termoeléctrica de la Guajira - "TERMOGUAJIRA"	Resolución 01954 del 2/12/2020
LAM2919	Sociedad Puerto Brisa S.A.	Puerto Multipropósito Brisa	Resolución 1050 del 19/05/2023

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



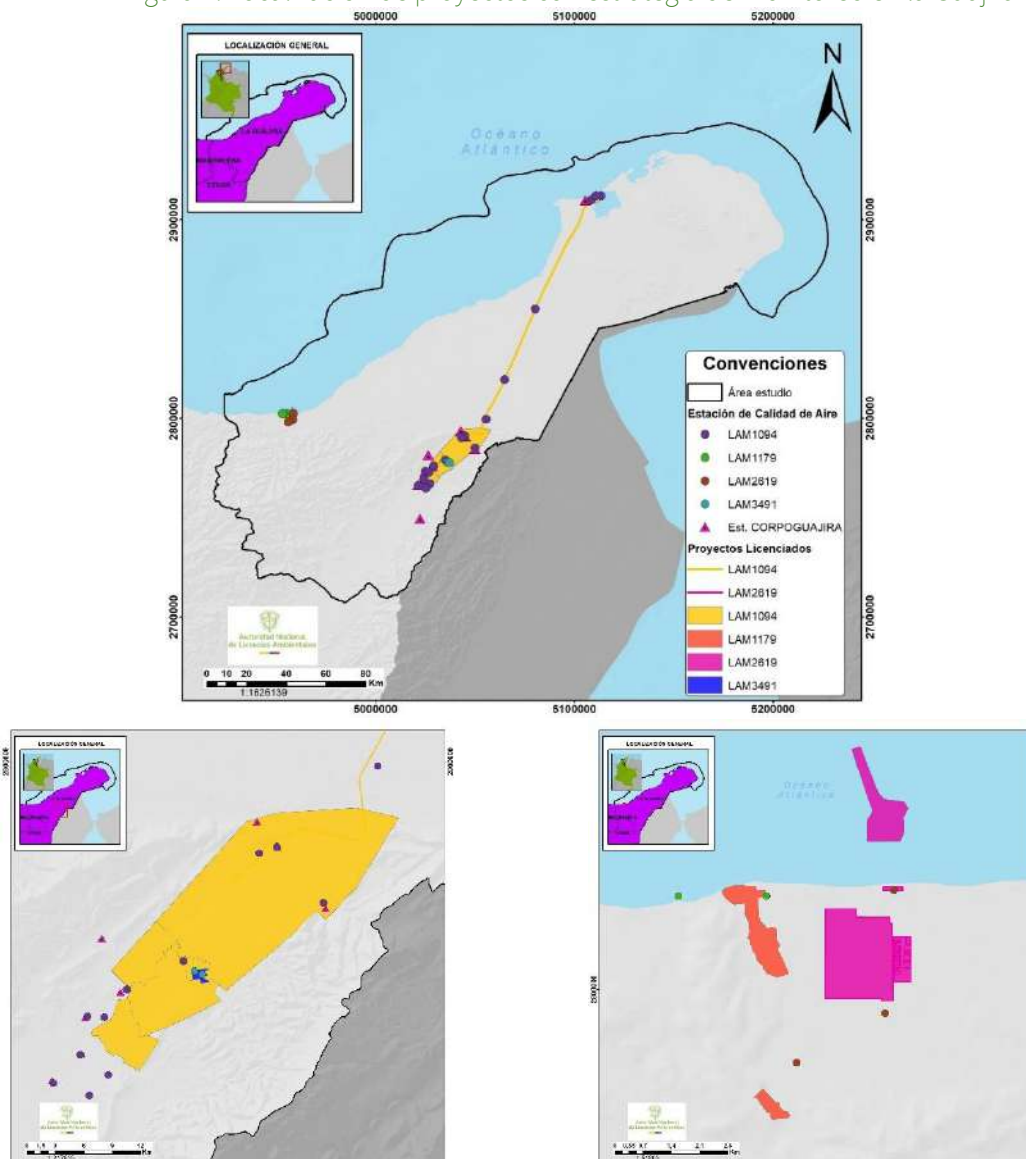


Los proyectos asociados a la estrategia mantienen las siguientes condiciones de modo, tiempo y lugar para el monitoreo de la calidad del aire.

3.1. CONDICIONES DE LUGAR

La Figura 1 presenta la localización de los proyectos y la distribución espacial de las estaciones de monitoreo incluidas en el marco de la estrategia, tanto en la zona minera como en la zona occidental de la media Guajira. Adicionalmente, las coordenadas geográficas de las estaciones de monitoreo de calidad del aire se consignan en la Tabla 2.

Figura 1. Localización de proyectos con estrategia de monitoreo en la Guajira



Fuente: ANLA - SIPTA, 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, 2025

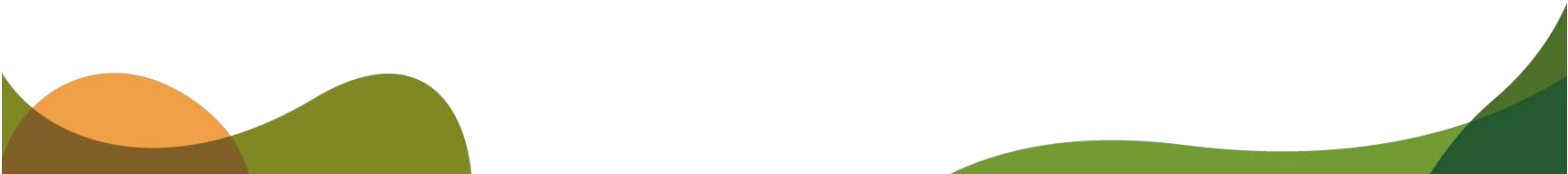




Tabla 2. Coordenadas de las estaciones que forman parte de la estrategia de monitoreo atmosférica

Expediente	CÓDIGO ANLA	NOMBRE	COORDENADAS ORIGEN NACIONAL CMT-12		
			ESTE	NORTE	
LAM1094	MCA-LAM1094-0001	Viento Arriba Papayal	5024917	2773217	
	MCA-LAM1094-0002	Viento Arriba Barrancas	5024175	2769196	
	MCA-LAM1094-0004	Viento Abajo Provincial	5029057	2776032	
	MCA-LAM1094-0005	Viento Arriba Remedios	5049816	2785142	
	MCA-LAM1094-0007	Viento Arriba Albania	5044867	2791036	
	MCA-LAM1094-0008	Viento Arriba Vivienda	5043027	2790374	
	MCA-LAM1094-0009	Viento Abajo Patilla-Chancleta	5035023	2779000	
	MCA-LAM1094-0011	Viento Arriba Campoalegre	5027091	2767059	
	MCA-LAM1094-0012	Estación Huarurapay	5113266	2911931	
	MCA-LAM1094-0013	Estación Escuela	5108245	2909724	
	MCA-LAM1094-0014	Estación Malla Norte	5110689	2911880	
	MCA-LAM1094-0015	Estación Uribia	5080149	2855055	
	MCA-LAM1094-0016	Estación Cuatro Vías	5064757	2819559	
	MCA-LAM1094-0017	Aeropuerto II	5055498	2799551	
	MCA-LAM1094-0018	Viento Arriba Papayal 2 (San Francisco)	5026705	2773111	
	MCA-LAM1094-0019	Viento Abajo Barrancas	5021329	2766181	
	MCA-LAM1094-0020	Viento Abajo Barrancón	5025092	2764894	
	LAM3491	MCA-LAM3491-0001	Oficinas	5036188	2777980
		MCA-LAM3491-0002	Ciudadela	5037046	2777626
	LAM1179	MCA-LAM1179-0001	La Victoria Vientos Arriba	4955267	2802311
MCA-LAM1179-0002		Porvenir Vientos Abajo	4953085	2802314	
LAM2619	MCA-LAM2619-0001	E1 - La Playa	4958430	2802463	
	MCA-LAM2619-0002	E2 - Ranchones	4958205	2799413	
	MCA-LAM2619-0003	E3 - La Chinita	4956017	2798188	
CORPOGUAJIRA	N.A.	1. ALBANIA	5044930	5044930	
	N.A.	2. BARRANCAS	5024220	5024220	
	N.A.	3. CONEJO	5022280	5022280	
	N.A.	4. CUESTECITAS	5042770	5042770	
	N.A.	5. HATONUEVO	5026430	5026430	
	N.A.	6. JEPIRACHI AUTOMÁTICA	5105470	5105470	
	N.A.	7. LOS REMEDIOS	5050000	5050000	
	N.A.	8. PACHAROCA	5021170	5021170	
	N.A.	9. PAPAYAL	5024680	5024680	
	N.A.	10. PROVINCIAL AUTOMÁTICA	5028390	5028390	

N.A.: No aplica, teniendo en cuenta que son las estaciones del Corporación Autónoma Regional de La Guajira – CORPOGUAJIRA.

Fuente: ANLA - SIPTA, 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, 2025





3.2. CONDICIONES DE TIEMPO

Monitoreo Continuo: se deberán radicar ante la ANLA las mediciones validadas de las estaciones del SEVCA a través del Portal de Recepción de información - AGIL, utilizando el Módulo Atmosférico. Para ello, es necesario solicitar usuario y contraseña de acceso al Portal en los correos licencias@anla.gov.co o centromonitoreo@anla.gov.co. Este usuario es único para la sociedad y deberá ser solicitado por el representante legal de la compañía, indicando el correo autorizado para tal fin.

Frecuencia de muestreo:

- Equipos con tecnología de medición manual para PM_{10} y $PM_{2.5}$ deben tener una periodicidad de muestreo cada tercer día, de acuerdo con el cronograma del SEVCA (CORPOGUAJIRA).
- Equipos con tecnología automática deben tener una periodicidad de muestreo horaria, según las especificaciones técnicas correspondientes a cada estación.

Frecuencia de radicación de la información:

- Estaciones automáticas deben radicar semanalmente.
- Estaciones manuales deben radicar mensualmente.

Adicionalmente, la información debe ser reportada en el sistema SISAIRE, conforme a lo establecido en el Artículo 25 de la Resolución 2254 del 01 de noviembre de 2017 y el Artículo 5 de la Resolución 651 del 29 de marzo de 2010, o en las normas que las modifiquen o sustituyan.

3.3. CONDICIONES DE MODO

Contaminantes y parámetros: se realizará la medición de concentraciones de PM_{10} , $PM_{2.5}$ y variables meteorológicas tales como: temperatura del aire, precipitación, presión atmosférica, humedad relativa, radiación solar, velocidad y dirección del viento.

Metodología: las mediciones de concentración de PM_{10} y $PM_{2.5}$ se llevarán a cabo utilizando equipos con métodos acreditados por IDEAM, en cumplimiento de lo establecido en el artículo 2.2.8.9.1.5 del Decreto 1076 de 2015.





4. ANÁLISIS DEL ESTADO DE LA CALIDAD DEL AIRE

4.1. INFORMACION ANALIZADA

A continuación, se presenta un resumen de la información disponible para el análisis del cumplimiento de las obligaciones relacionadas con la estrategia de monitoreo regional. Esta información ha sido obtenida del sistema de Información de Licencias Ambientales SILA de la ANLA y del Subsistema de Información sobre Calidad del Aire – SISAIRE del IDEAM, específicamente para el caso de las estaciones bajo la jurisdicción de CORPOGUAJIRA (Ver Tabla 3).

Tabla 3. Fechas disponibilidad de información estaciones SVCA Fijos de la Guajira

Expediente	CÓDIGO ANLA	NOMBRE	Periodos de Reporte		
			Fecha Inicial	Fecha Final	
LAM1094	MCA-LAM1094-0001	Viento Arriba Papayal	1/01/2022	31/12/2024	
	MCA-LAM1094-0002	Viento Arriba Barrancas	1/01/2022	31/12/2024	
	MCA-LAM1094-0004	Viento Abajo Provincial	1/01/2022	31/12/2024	
	MCA-LAM1094-0005	Viento Arriba Remedios	1/01/2022	31/12/2024	
	MCA-LAM1094-0007	Viento Arriba Albania	1/01/2022	31/12/2024	
	MCA-LAM1094-0008	Viento Arriba Vivienda	1/01/2022	31/12/2024	
	MCA-LAM1094-0009	Viento Abajo Patilla-Chancleta	1/01/2022	31/12/2024	
	MCA-LAM1094-0011	Viento Arriba Campoalegre	1/01/2022	31/12/2024	
	MCA-LAM1094-0012	Estación Huarurapay	1/01/2022	31/12/2024	
	MCA-LAM1094-0013	Estación Escuela	1/01/2022	31/12/2024	
	MCA-LAM1094-0014	Estación Malla Norte	1/01/2022	31/12/2024	
	MCA-LAM1094-0015	Estación Uribia	1/01/2022	31/12/2024	
	MCA-LAM1094-0016	Estación Cuatro Vías	1/01/2022	31/12/2024	
	MCA-LAM1094-0017	Aeropuerto II	1/01/2022	31/12/2024	
	MCA-LAM1094-0018	Viento Arriba Papayal 2 (San Francisco)	1/01/2022	31/12/2024	
	MCA-LAM1094-0019	Viento Abajo Barrancas	1/01/2022	31/12/2024	
	MCA-LAM1094-0020	Viento Abajo Barrancón	1/01/2022	31/12/2024	
	LAM3491	MCA-LAM3491-0001	Oficinas	2/01/2022	31/12/2024
		MCA-LAM3491-0002	Ciudadela	2/01/2022	31/12/2024
	LAM1179	MCA-LAM1179-0001	La Victoria Vientos Arriba	25/11/2022	31/12/2024
MCA-LAM1179-0002		Porvenir Vientos Abajo	23/07/2022	31/12/2024	
LAM2619	MCA-LAM2619-0001	E1 – La Playa	N.A.	N.A.	
	MCA-LAM2619-0002	E2 - Ranchones	N.A.	N.A.	





Expediente	CÓDIGO ANLA	NOMBRE	Periodos de Reporte	
			Fecha Inicial	Fecha Final
	MCA-LAM2619-0003	E3 - La Chinita	N.A.	N.A.
CORPOGUAJIRA	N.A.	1. ALBANIA	10/02/2022	26/09/2022
	N.A.	2. BARRANCAS	10/02/2022	30/08/2022
	N.A.	3. CONEJO	10/02/2022	26/09/2022
	N.A.	4. CUESTECITAS	10/02/2022	26/09/2022
	N.A.	5. HATONUEVO	10/02/2022	26/09/2022
	N.A.	6. JEPIRACHI AUTOMÁTICA	7/07/2022	16/10/2023
	N.A.	7. LOS REMEDIOS	10/02/2022	26/09/2022
	N.A.	8. PACHAROCA	10/02/2022	26/09/2022
	N.A.	9. PAPAYAL	29/04/2022	26/09/2022
	N.A.	10. PROVINCIAL AUTOMÁTICA	26/05/2022	2/12/2024

Fuente: ANLA - SIPTA, 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, 2025

Conforme a lo anterior, es pertinente señalar que no todos los proyectos están cumpliendo con el reporte de los resultados de monitoreo al Centro de Monitoreo de los Recursos Naturales (CMRN) de la ANLA. En particular, el proyecto correspondiente al expediente LAM2619, al cual se le impuso la Estrategia de Monitoreo (EM) mediante el artículo primero de la Resolución 1050 del 19 de mayo de 2023, el cual no ha realizado el reporte correspondiente, incurriendo así en el incumplimiento de la obligación establecida.

En consecuencia, en el marco de los seguimientos ejecutados por la ANLA, se han emitido requerimientos orientados a garantizar el cumplimiento de dicha obligación. Específicamente, se destaca el requerimiento 8 del Acta 1036 del 19 de diciembre de 2024, el cual fue reiterado mediante el requerimiento 23 del Acta 889 del 20 de noviembre de 2025.

SISTEMA DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE FIJO (SVCAI)

De acuerdo con la información correspondiente a las estaciones de monitoreo de calidad del aire ubicadas en la zona de implementación de la estrategia, presentada en la Figura 1 y la Tabla 2, a continuación, se analizan los resultados de concentración de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$, así como las variables meteorológicas asociadas a dichas mediciones.

El consolidado de registros por estación se presenta en la Tabla 4. Cabe señalar que, al tratarse de sistemas fijos con monitoreo continuo a lo largo del año, la representatividad temporal de los registros se calcula con base en el número máximo de datos posibles durante el año de evaluación. Se considera que existe cumplimiento normativo cuando la cobertura de datos supera el 75% del total esperable para el periodo evaluado.





Tabla 4. Cantidad de registros diarios de calidad del aire para para La Guajira

EXPEDIENTE / CORPORACIÓN	AÑO	PM ₁₀		PM _{2.5}	
		# ESTACIONES QUE MONITOREARON	RANGO DE REPRESENTATIVIDAD (%)	# ESTACIONES QUE MONITOREARON	RANGO DE REPRESENTATIVIDAD (%)
CORPOGUAJIRA	2022	10	20 – 41	2	33 – 35
	2023	2	63 – 75	2	63 -74
	2024	1	75	1	75
LAM1094	2022	17	79 – 100	17	77 – 100
	2023	17	90 – 100	17	88 – 100
	2024	17	75 – 100	17	75 – 100
LAM1179	2022	2	8 – 41	2	8 – 41
	2023	2	93 – 94	2	93 – 94
	2024	2	95 – 96	2	95 – 96
LAM3491	2022	2	98	2	98
	2023	2	98	2	98
	2024	2	99	2	99

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

La representatividad de los muestreos para material particulado ha sido variable, considerando como cumplimiento 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 el año 2022 y 2023.

En el caso específico de CORPOGUAJIRA, durante los tres años analizados se reportaron datos provenientes de estaciones con equipos automáticos y manuales. En el 2022, ocho de las diez estaciones operaron con tecnología manual; sin embargo, todas presentaron una representatividad temporal inferior al 75%. En 2023, solo se reportaron datos de dos estaciones automáticas, con una representatividad temporal entre el 63% y el 75%. Finalmente, en 2024 únicamente se obtuvo información de una estación, que alcanzó una representatividad del 75%.

En consecuencia, y conforme a lo reportado en el sistema SISAIRES, las estaciones de CORPOGUAJIRA cuya representatividad fue inferior al 75% se excluyen del presente análisis.





4.2. RESULTADOS

4.2.1. Análisis históricos de material particulado

Análisis de Resultados de PM_{10} : Considerando los resultados presentados en la Figura 2, se observa que, en términos generales, se cumple con el nivel máximo permisible anual de PM_{10} establecido en la Resolución del 1 de noviembre de 2017, correspondiente a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sin embargo, durante el año 2022 se identificaron excedencias en dos estaciones ubicadas en el proyecto LAM3491 - Mina Caypa: la estación MCA-LAM3491-0001 registró un valor 10% por encima del límite, y la estación MCA-LAM3491-0002 presentó un exceso del 3,2%.

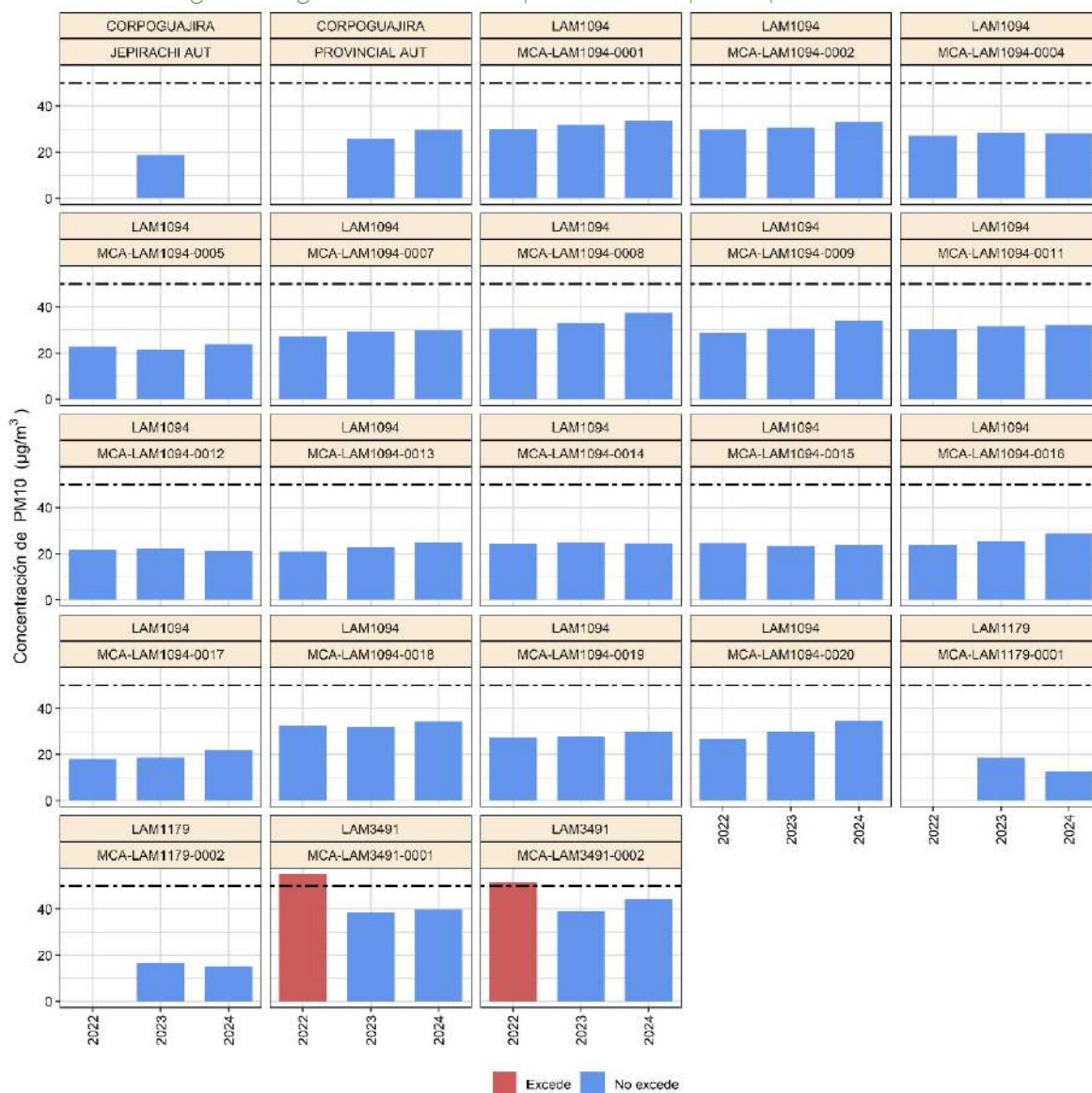
No obstante, según lo determinado en las actividades de seguimiento realizadas en 2023, ambos puntos de monitoreo corresponden a estaciones de vigilancia ocupacional, por lo que no representan una incidencia directa sobre receptores sensibles vinculados al desarrollo del proyecto. Es importante señalar que, si bien estas estaciones se consideran de vigilancia ocupacional, durante los años 2023 y 2024 han reportado concentraciones por debajo del límite normativo, lo cual sugiere una posible disminución en la intensidad de las actividades del proyecto.

Respecto a las tendencias interanuales de las concentraciones promedio de PM_{10} entre los años 2022 y 2024, se identificó un incremento general del 7% en el 2024 en comparación con 2023. No obstante, este aumento no implicó el sobrepaso del límite anual, ya que ninguna de las estaciones analizadas superó el valor máximo permisible definido en la Resolución del 1 de noviembre de 2017.





Figura 2. Registro histórico de captura de datos para el parámetro PM₁₀



Fuente: ANLA - SIPTA, 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, 2025

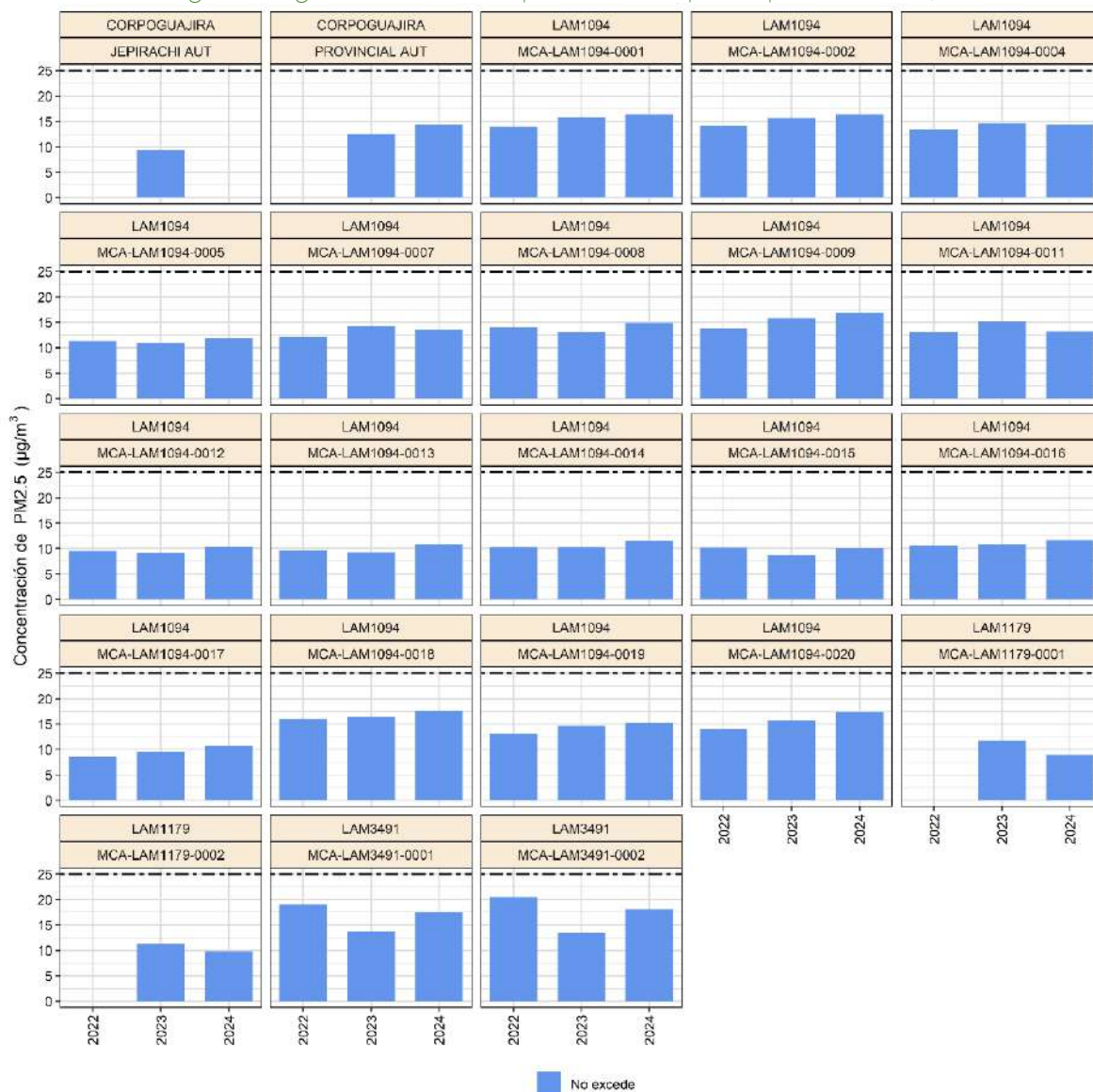
Análisis de Resultados de PM_{2.5}: En relación con el material particulado PM_{2.5}, en ninguna de las estaciones evaluadas durante los tres años analizados se registraron excedencias del límite máximo permisible anual de 25 µg/m³, establecido por la normativa vigente. No obstante, se destaca que los valores promedios anuales más elevados se observaron en el proyecto LAM3491 durante el año 2022. Para este mismo proyecto, se evidenció una disminución en el promedio anual en 2023, seguida de un incremento en 2024, aunque sin alcanzar los niveles registrados en 2022. Esta evolución es consistente con la tendencia observada previamente para el material particulado PM₁₀.





En cuanto a las variaciones interanuales de PM_{2.5} entre 2022 y 2024, se identificó que 18 de las 23 estaciones analizadas presentaron un leve aumento en el promedio anual en 2024 con respecto al 2023. Sin embargo, como ya se indicó, en ningún caso se superó el umbral normativo establecido.

Figura 3. Registro histórico de captura de datos para el parámetro PM_{2.5}



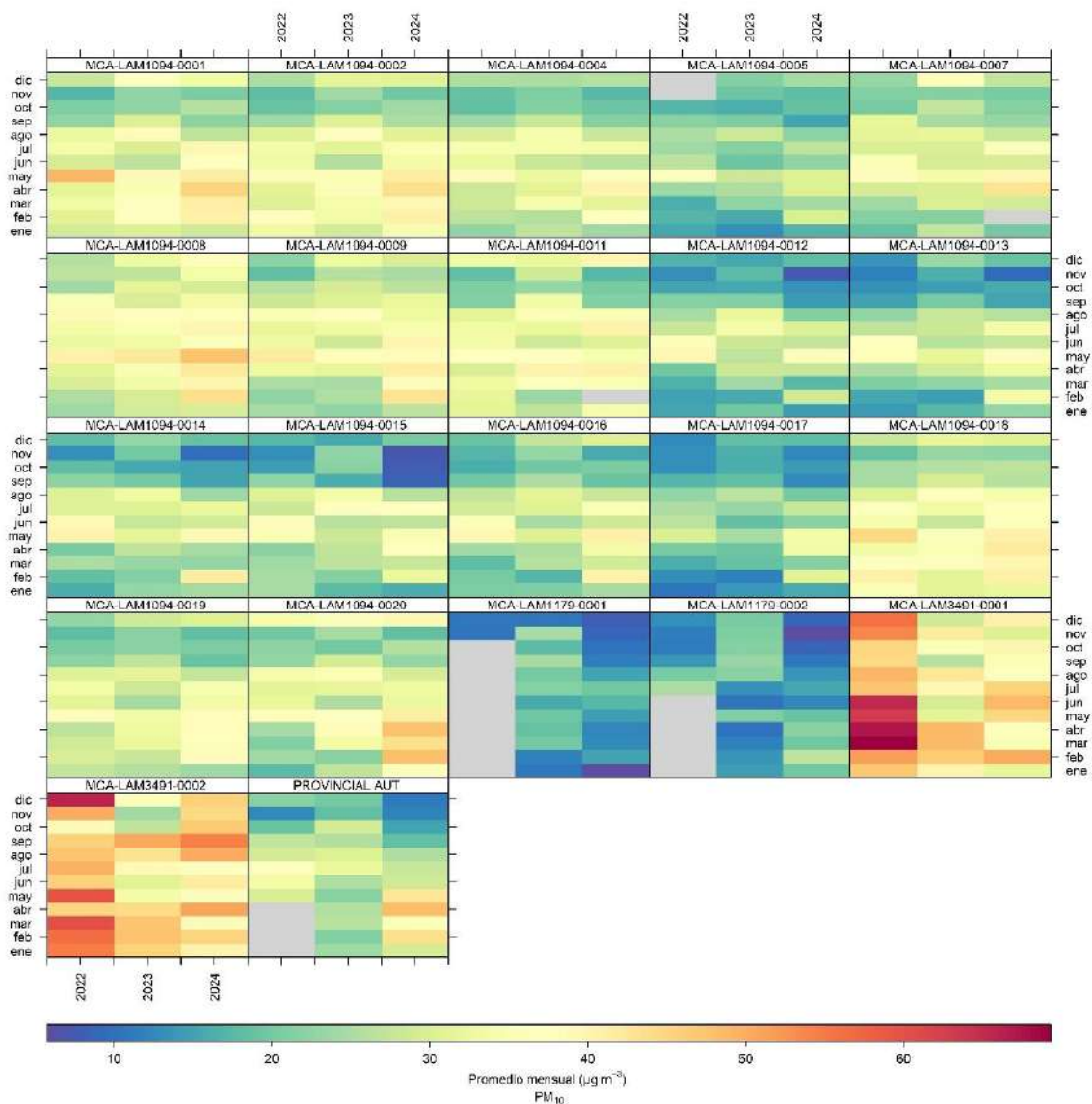
Fuente: ANLA - SIPTA, a partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales y la información descargada del Subsistema de Información sobre Calidad del Aire – SISAIRE, 2025

En relación con la tendencia de los resultados mensuales, a continuación, se presentan para cada estación los promedios históricos por mes.





Figura 4. Comportamiento histórico de los promedios mensuales de PM₁₀



Fuente: ANLA - SIPTA, 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, 2024



El comportamiento mensual de las concentraciones de PM_{10} entre los años 2022 y 2024, representado en la Figura 4, permite identificar variaciones tanto interanuales como estacionales en las diferentes estaciones de monitoreo. En términos generales, se evidencia el cumplimiento del nivel máximo permisible anual de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, establecido en la Resolución 2254 del 1 de noviembre de 2017, sin que se registren excedencias recurrentes en ninguna de las estaciones analizadas. No obstante, se destaca que las estaciones MCA-LAM3491-0001 y MCA-LAM3491-0002, correspondientes al proyecto LAM3491, presentaron concentraciones mensuales más elevadas durante varios meses de 2022. Esta tendencia se redujo en 2023 y mostró un leve incremento en 2024, sin alcanzar los niveles observados en el primer año.

Asimismo, en varias estaciones se observa un ligero aumento en las concentraciones de PM_{10} durante 2024 en comparación con 2023, lo cual es consistente con el incremento general del 7% identificado en el análisis anual. Pese a este aumento, no se evidencian excedencias del límite normativo.

Las tendencias observadas de material particulado $PM_{2.5}$ son similares al material particulado PM_{10} . En particular, se registraron concentraciones más altas en el proyecto LAM3491 durante 2022, con una reducción significativa en 2023. En los otros dos proyectos, se observaron menores concentraciones entre septiembre y diciembre del mismo año. Igualmente, en el resto de las estaciones se evidenció un leve incremento de las concentraciones mensuales en el año 2023 respecto al 2022.

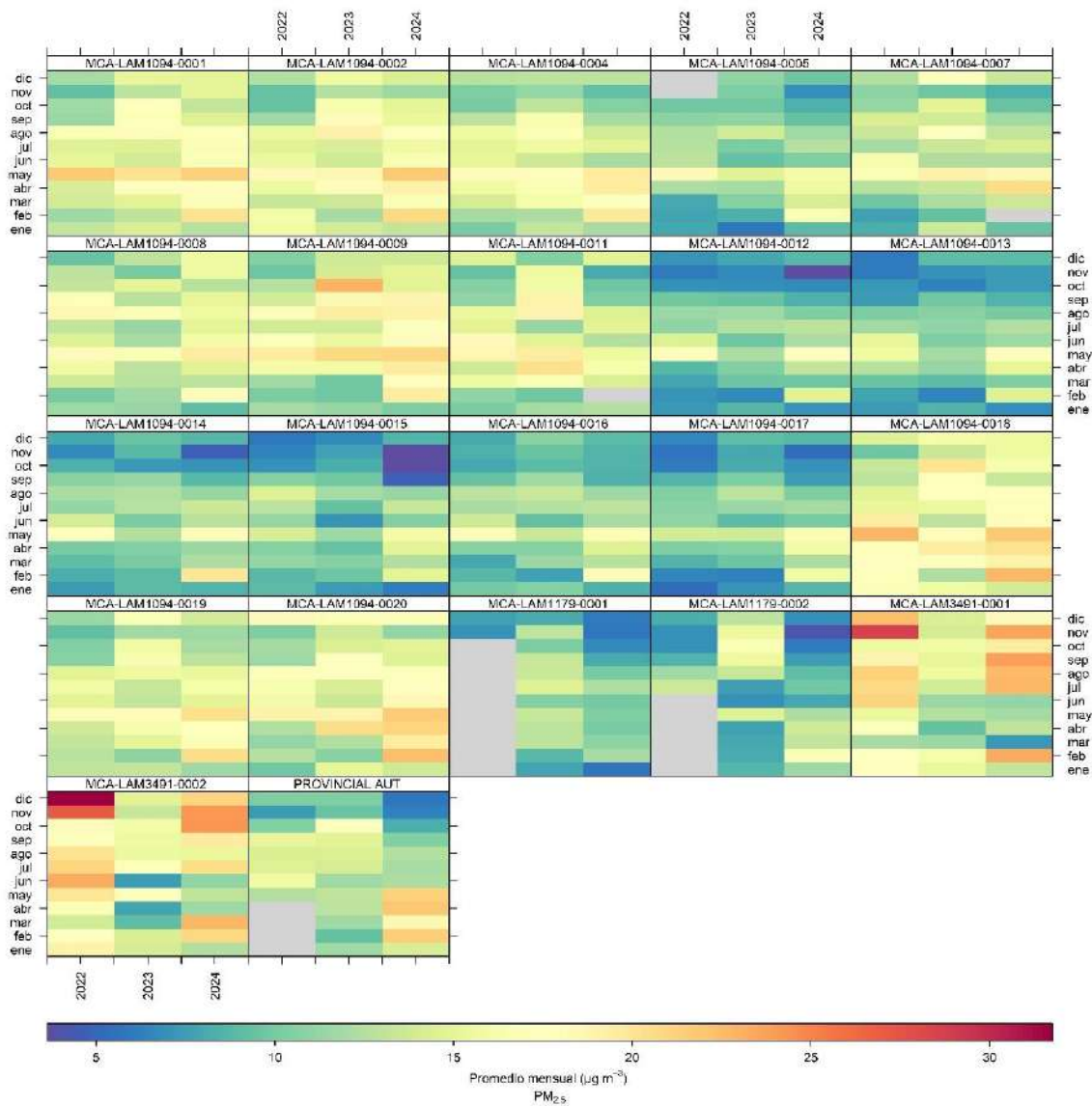
En cuanto al Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire de CORPOGUAJIRA, únicamente se dispone de datos de $PM_{2.5}$ en las estaciones automáticas Jeripachi y Provincial, razón por la cual no se cuentan con registros para las demás estaciones de la Corporación.

La Figura 5, presenta la distribución mensual de las concentraciones de $PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en las diferentes estaciones de monitoreo entre los años 2022 y 2024. En general, ninguna estación superó el límite máximo permisible anual de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, establecido en la Resolución 2254 del 1 de noviembre de 2017. No obstante, se destacan concentraciones elevadas durante el año 2022 en las estaciones del proyecto LAM3491, especialmente en MCA-LAM3491-0002, donde se observaron concentraciones cercanas al límite normativo en varios meses del primer semestre. En 2023, las concentraciones de $PM_{2.5}$ disminuyeron en la mayoría de las estaciones, mientras que en 2024 se registró un leve repunte en al menos 18 de las 23 estaciones analizadas. Este comportamiento, sin embargo, no compromete el cumplimiento normativo. La tendencia observada es consistente con la observada para el PM_{10} , lo que sugiere una posible variación conjunta asociada a cambios en la intensidad de las actividades o en las condiciones meteorológicas regionales.

Finalmente, es importante señalar que las dos estaciones del proyecto LAM1179, presentan ausencias de datos tanto para PM_{10} como para $PM_{2.5}$ durante determinados periodos del

año 2022 (zonas grises en la figura), lo cual puede afectar la representatividad temporal del análisis y debe considerarse en la evaluación de la calidad de la información.

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



Fuente: ANLA - SIPTA, 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, 2024



En términos generales, durante el período 2022–2024, tanto para PM_{10} como para $PM_{2.5}$ se observa una tendencia estacional en los registros de concentración. En general, los registros más altos se presentan entre los meses de enero y abril, mientras que hacia el segundo semestre (junio–septiembre) se identifican concentraciones menores y, posteriormente, entre octubre y diciembre, se presenta un incremento moderado. Este comportamiento se repite de manera similar en los distintos años evaluados, lo cual sugiere una recurrencia temporal asociada a las condiciones de dispersión atmosférica y a factores propios de la temporada seca.

El análisis de las concentraciones diarias de PM_{10} , representado mediante diagramas de caja para los años 2022, 2023 y 2024, permite evidenciar el comportamiento estadístico y la variabilidad interanual en cada una de las estaciones de monitoreo evaluadas. En general, se observa una disminución en los niveles de concentración de PM_{10} entre 2022 y 2023, seguida de un leve incremento en 2024 en varias estaciones, comportamiento que concuerda con lo identificado previamente en los gráficos de calor. Esta tendencia puede estar relacionada a factores meteorológicos o a variaciones en la intensidad de las actividades de las fuentes emisoras presentes en el área de influencia.

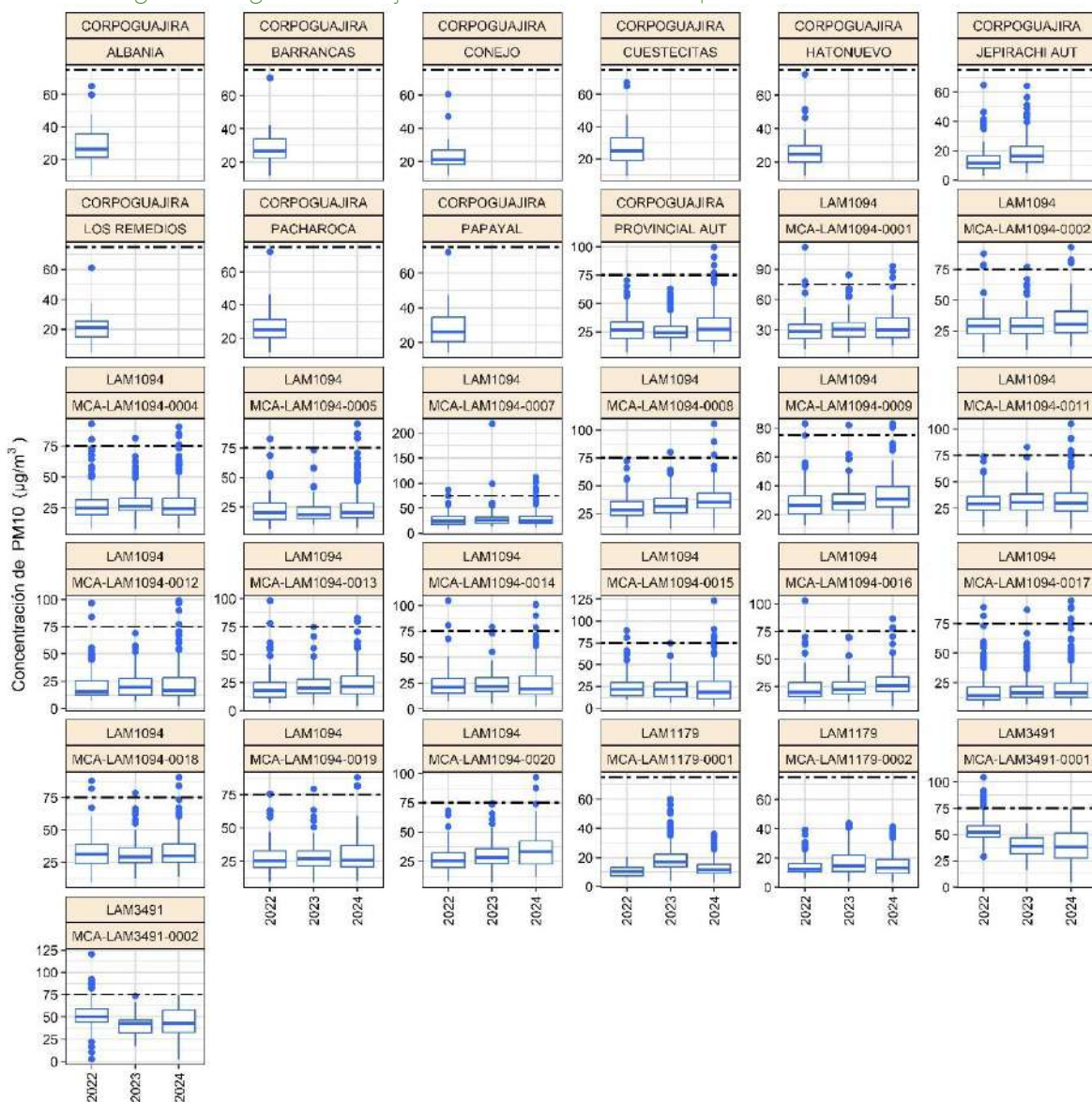
A pesar de la presencia de valores atípicos en algunas estaciones como MCA-LAM1094-0007 y MCA-LAM3491-0002, la mayoría de las estaciones mantienen sus medianas por debajo del valor límite normativo diario de $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, establecido en la Resolución 2254 del 1 de noviembre de 2017. No obstante, se identificaron casos puntuales en los que los percentiles superiores, así como ciertos valores atípicos, sobrepasan este umbral, lo cual evidencia la necesidad de un seguimiento más detallado en estaciones específicas, para lo cual los expedientes encargados de dichas estaciones indican de manera específica el porqué de este tipo de fenómenos en donde se ha destacado la presencia de incendios y /o del polvo del Sahara.

En particular, los proyectos LAM1094, LAM1179 y LAM3491 presentan una mayor variabilidad en los datos, así como rangos intercuartílicos más amplios en comparación con las estaciones de referencia operadas por CORPOGUAJIRA. Estas últimas muestran distribuciones más estables y concentraciones generalmente más bajas, lo que sugiere condiciones de menor exposición a fuentes de emisión directa.





Figura 6. Diagramas de caja con la distribución de los promedios diarios de PM₁₀



Fuente: ANLA - SIPTA, 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, 2024

El análisis de los valores diarios de concentración de PM₁₀ registrados en las estaciones asociadas a los proyectos LAM1094, LAM1179 y LAM3491 durante el periodo 2022–2024 evidencia la ocurrencia de excedencias puntuales al límite normativo diario de 75 µg/m³, establecido en la Resolución 2254 del 1 de noviembre de 2017. Estas excedencias, representadas en rojo en la figura, se presentan de forma más recurrente en las estaciones MCA-LAM1094-0007, MCA-LAM1094-0008 y MCA-LAM3491-0002, en las cuales incluso se identifican una concentración diaria por encima de los 150 µg/m³ específicamente para el



mes de diciembre de 2023, y 9 por encima de los entre los 100 y 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el año 2024, lo que indica eventos críticos de exposición.

Si bien la mayoría de los datos permanecen por debajo del umbral normativo, la presencia de estos picos sugiere la ocurrencia de episodios específicos posiblemente asociados a actividades operativas intensivas o condiciones meteorológicas desfavorables.

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



Fuente: ANLA - SIPTA, 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, 2024

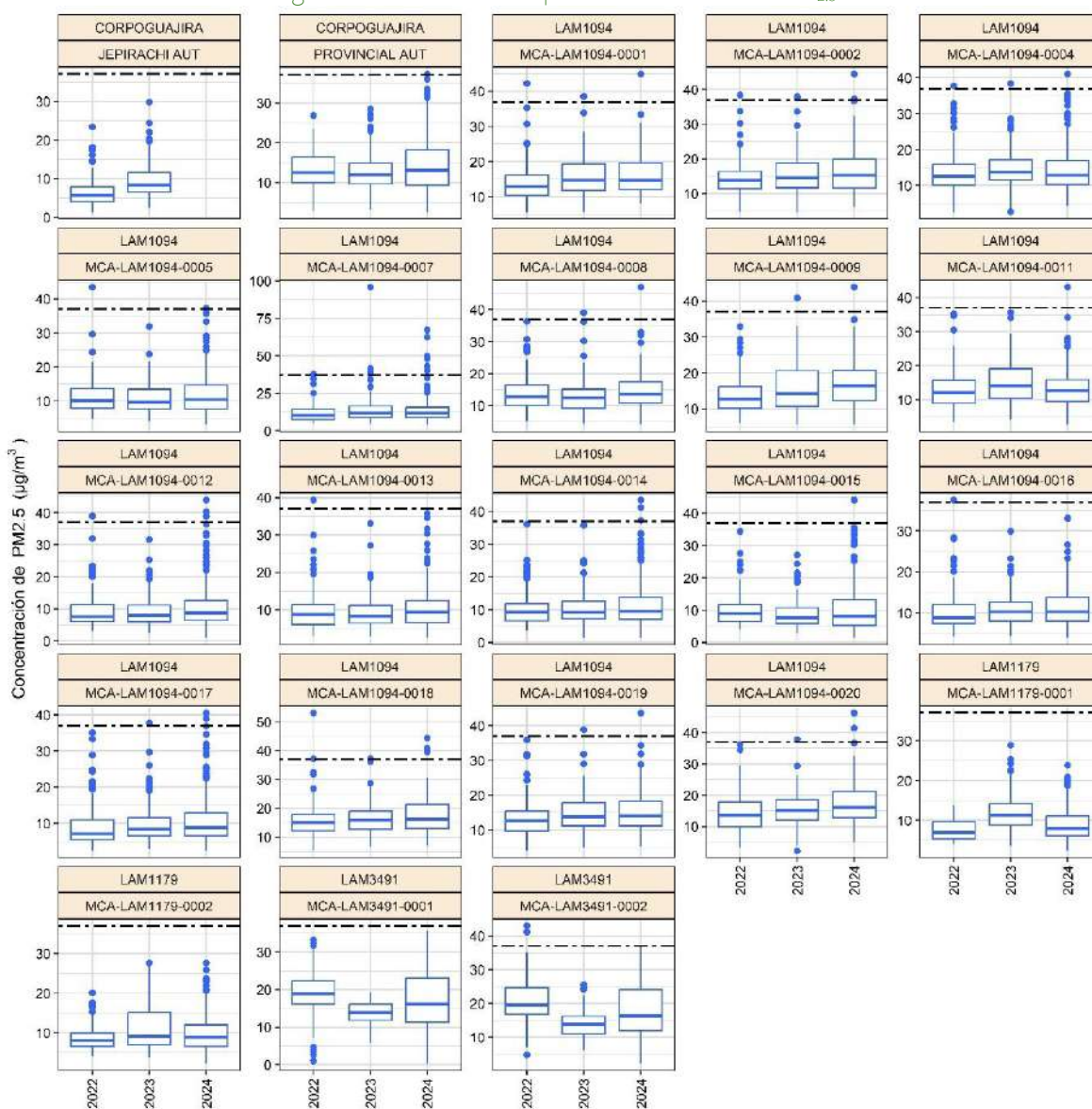
El análisis de las concentraciones diarias de material particulado fino ($\text{PM}_{2.5}$) durante el periodo 2022 a 2024, evidencia que la mayoría de las estaciones asociadas a los proyectos LAM1094, LAM1179 y LAM3491 presentan concentraciones por debajo del límite normativo



diario de $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$, establecido en la Resolución 2254 del 1 de noviembre de 2017. No obstante, se identifican excedencias ocasionales en algunas estaciones, particularmente en MCA-LAM1094-0007, MCA-LAM1094-0020, MCA-LAM3491-0001 y MCA-LAM3491-0002, las cuales registran valores superiores al umbral normativo en diferentes momentos del periodo analizado.

Estas excedencias, aunque puntuales, podrían estar asociadas a eventos locales de mayor emisión o a condiciones meteorológicas que favorecen la acumulación de partículas finas en la atmósfera. Por su parte, las estaciones MCA-LAM1179-0001 y MCA-LAM1179-0002 muestran un comportamiento más estable, sin registrar excedencias al límite normativo. En general, las concentraciones de $\text{PM}_{2.5}$ tienden a mantenerse dentro de rangos aceptables.

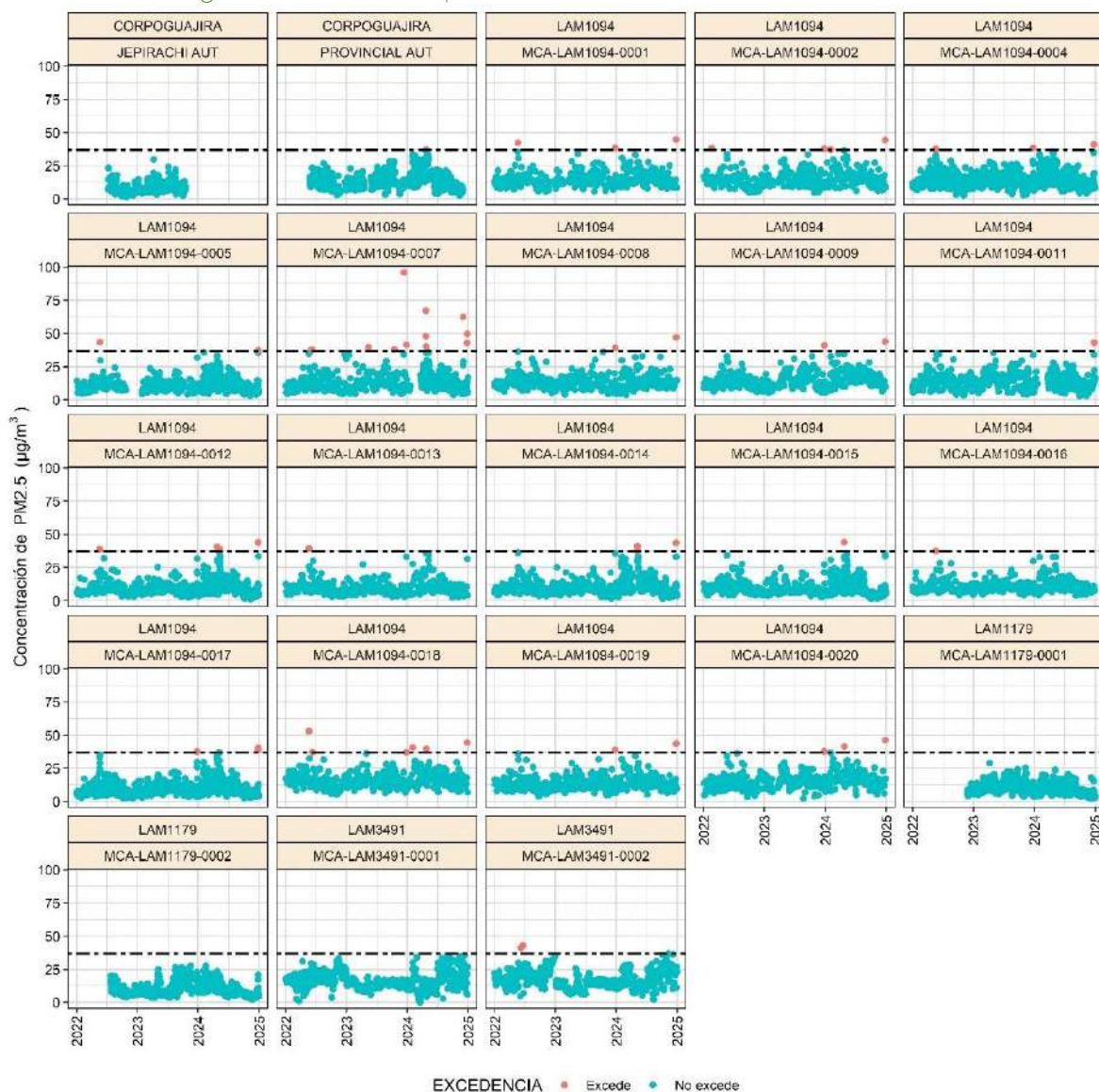
Figura 8. Distribución de promedios diarios de $\text{PM}_{2.5}$



Fuente: ANLA - SIPTA, 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, 2024

La distribución temporal de las concentraciones de PM_{2.5} para los proyectos LAM1094; LAM3491; LAM1179 y las estaciones de CORPOGUAJIRA, asociados a la estrategia de monitoreo atmosférica (calidad del aire), para el periodo analizado se presenta en la siguiente figura. En dicha figura, las excedencias al nivel máximo permisible de 37 µg/m³ están destacadas en color rojo, y se observan distribuidas en ambos semestres de cada uno de los años analizados.

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



Fuente: ANLA - SIPTA, 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, 2024



El comportamiento temporal de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ durante el periodo 2022-2024, muestra que la gran mayoría de los registros se mantienen por debajo del límite normativo diario de $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sin embargo, se evidencian excedencias puntuales en estaciones como MCA-LAM1094-0007, MCA-LAM1094-0018, MCA-LAM1094-0020 y MCA-LAM3491-0002, principalmente durante eventos aislados. Estas excedencias, marcadas en rojo en el gráfico, no presentan un patrón estacional definido, pero podrían estar asociadas a actividades específicas del proyecto o a condiciones meteorológicas desfavorables.

A pesar de estas excepciones, el comportamiento general de las concentraciones indica un adecuado cumplimiento del estándar normativo. Las estaciones MCA-LAM1179-0001, MCA-LAM1179-0002 y la mayoría de las asociadas a LAM1094 muestran una distribución de datos consistente en niveles bajos, sin registrar excedencias recurrentes. Estos resultados sugieren que las emisiones asociadas al proyecto se mantienen, en términos generales, dentro de los límites permitidos.

Por tanto, en términos generales, el porcentaje de excedencias diarias en la región no supera el 2,5 % para PM_{10} y $PM_{2.5}$ en 2024. Esto sugiere que los episodios de superación de los estándares de calidad del aire son poco frecuentes y se concentran principalmente durante el primer semestre del año en toda el área analizada. En consecuencia, las medidas de mitigación de la calidad del aire deberían intensificarse en este período, considerando las condiciones de estabilidad atmosférica y factores externos a las actividades, que aumentan la sensibilidad del área en términos de calidad del aire.

En cuanto a la evolución temporal, se evidencia variabilidad interanual, destacando aumentos notorios en 2024 en varias estaciones de PM_{10} (por ejemplo, MCA-LAM1094-0001, MCA-LAM1094-0002, MCA-LAM1094-0007, MCA-LAM1094-0008, MCA-LAM1094-0009 y MCA-LAM1094-0019), lo que podría reflejar episodios puntuales de incremento en los niveles de inmisión. Por el contrario, los valores de $PM_{2.5}$ se mantienen en general bajos porcentajes de excedencias, las cuales no se consideran representativas, con algunas excepciones recientes en las estaciones MCA-LAM1094-0007 y MCA-LAM1094-0018, donde se observan incrementos puntuales. Estos incrementos son de baja magnitud, los cuales no se consideran representativos del estado general del componente.

Estos hallazgos destacan la necesidad de fortalecer el seguimiento y control de fuentes emisoras, así como implementar medidas de mitigación orientadas a prevenir estos episodios críticos, especialmente en las zonas donde la recurrencia y magnitud de las excedencias es mayor.

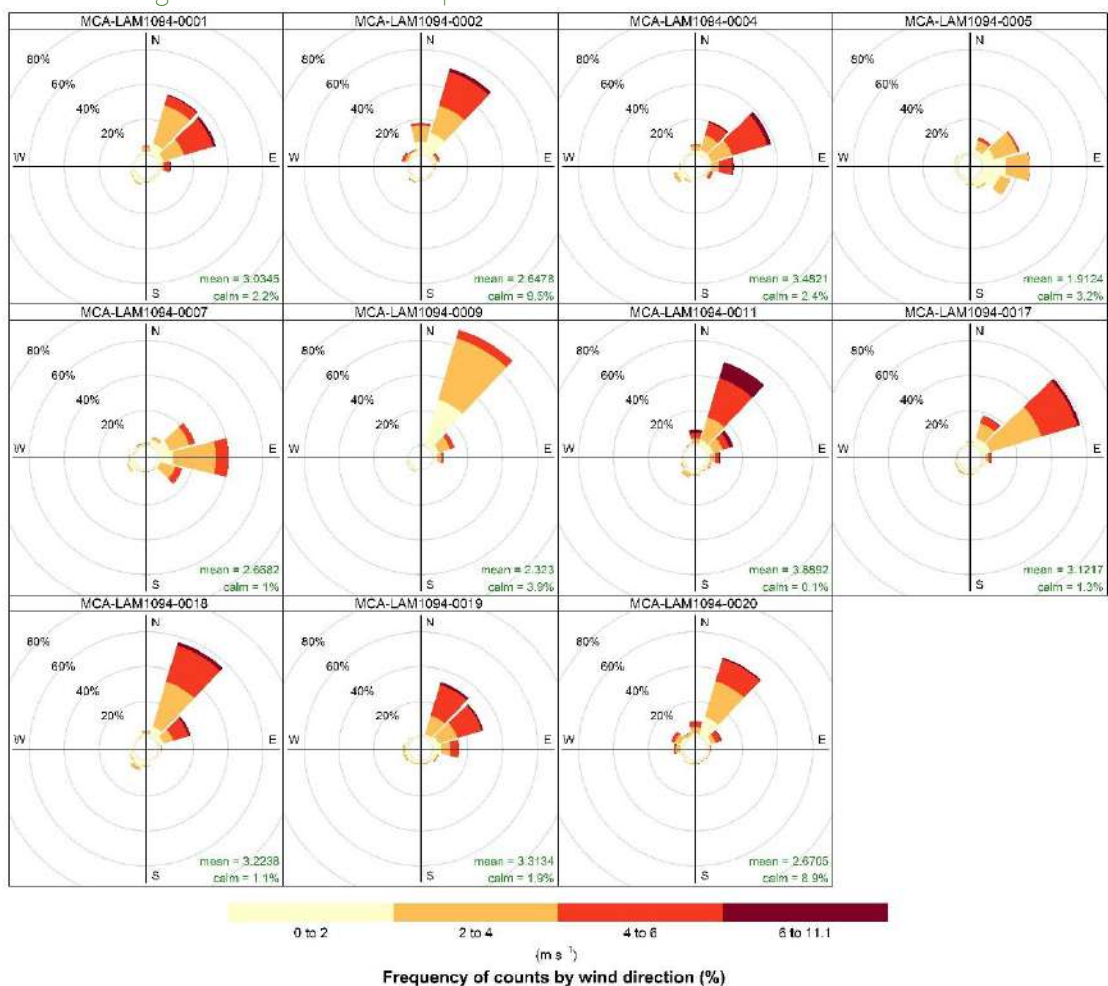




4.2.2. Comportamiento de la velocidad y de la dirección del viento

El viento ejerce un rol destacado en la dispersión de contaminantes en la atmosfera. En este contexto, a continuación, se presenta el análisis de la velocidad y la dirección de los vientos para las estaciones asociadas a los dos (2) proyectos en el marco de la estrategia de monitoreo, así como en la estación Provincial de Corpoguajira. Este análisis abarca el periodo comprendido entre 2022 a 2024.

Figura 10. Rosas de viento para las estaciones de calidad del aire en 2022

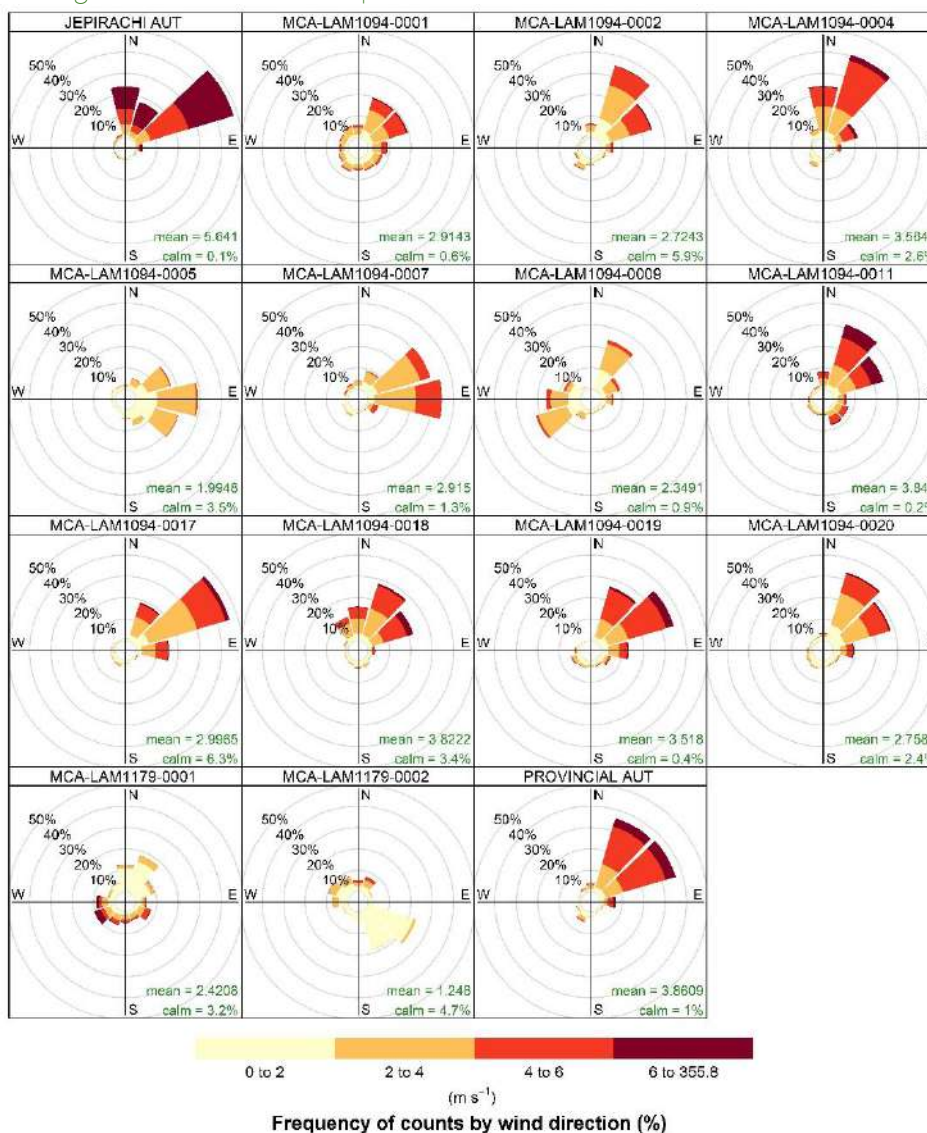


Fuente: ANLA - SIPTA, a partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales, 2025





Figura 11. Rosas de viento para las estaciones de calidad del aire en 2023

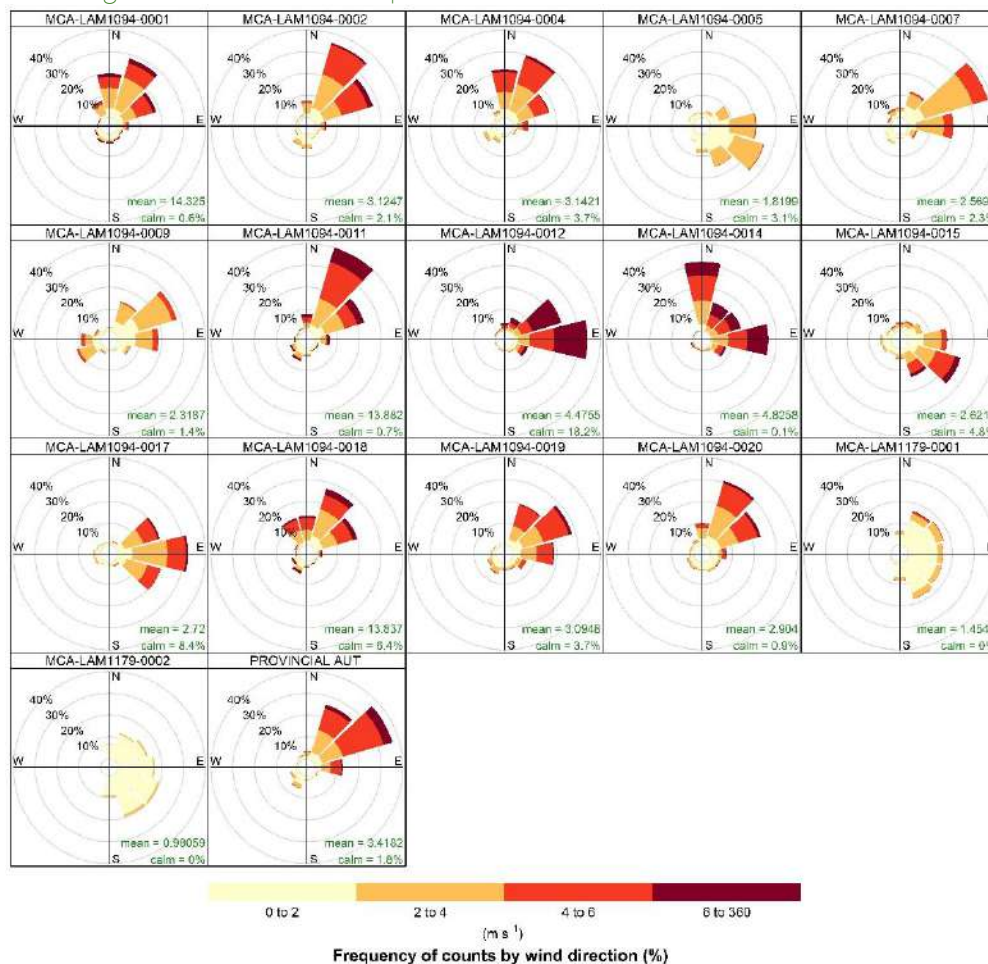


Fuente: ANLA - SIPTA, a partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales, 2025

Considerando las figuras anteriores, se evidencia que el viento presentó diferentes variables de dirección y velocidad, con una predominancia en las direcciones: Norte, Este, y Noreste. Para el año 2022 (Figura 10) el vector de viento predominante es el proveniente del Norte, con velocidades medias que oscilaron entre 2.3 m/s y 3.9 m/s, alcanzando valores máximos de 4 a 6 m/s en las estaciones LAM1094-0011 y LAM1094-0020. Durante los años 2023 (Figura 11) y 2024 (Figura 12), predominan los vientos que proceden del Norte y Noreste con

velocidades de hasta 6 m/s. Sin embargo, estaciones como la LAM1094-0011 y JEPIRACHI AUT alcanzaron velocidades de 6-8 m/s.

Figura 12. Rosas de viento para las estaciones de calidad del aire en 2024



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

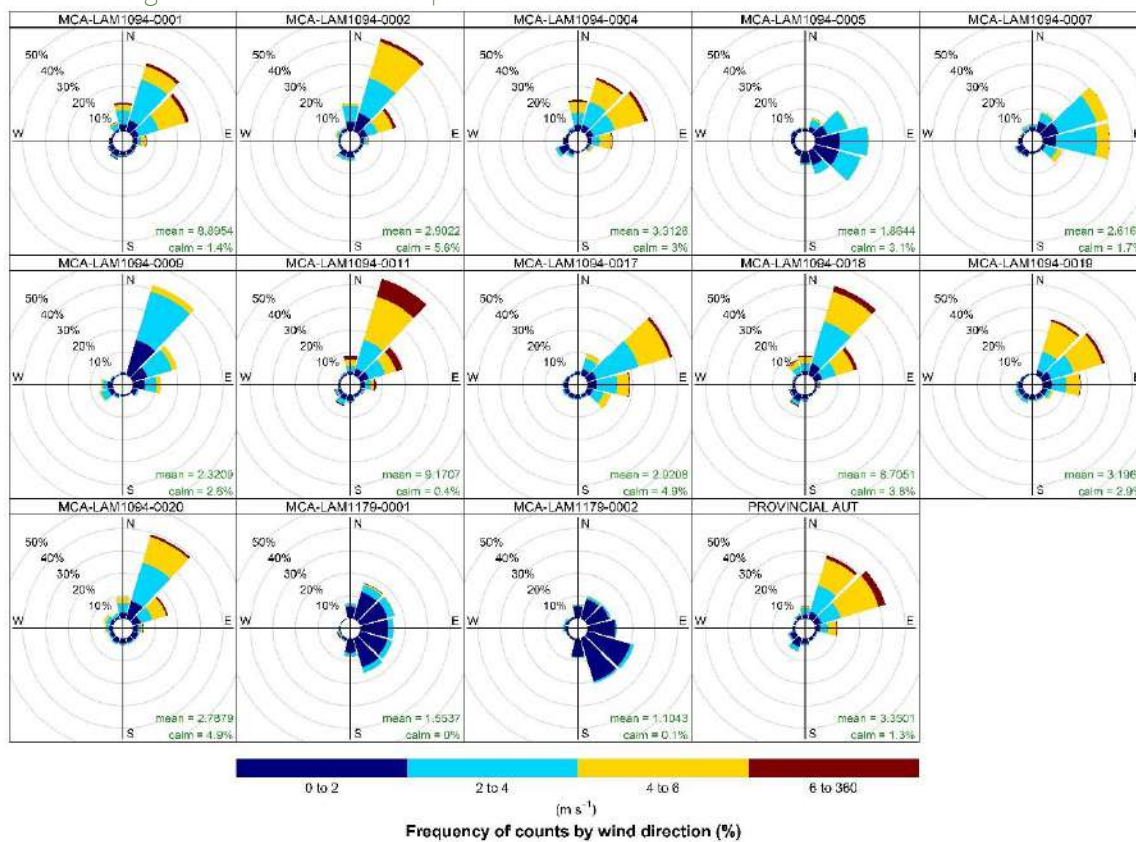
Se destaca que solo la estación MCA-LAM1179-0002, para los años 2023 y 2024, presentó una tendencia diferente con la dirección predominante al sureste y velocidades del viento inferiores a los 2 m/s. Lo anterior puede estar relacionado a condiciones de micro localización de la estación, puesto que se encuentra en la zona costera. Por tanto, es comprensible que se presenten variaciones con los datos de velocidad y dirección del viento que reportan las estaciones ubicadas al interior del departamento.

Adicionalmente, las estaciones del proyecto LAM1179, presentaron direcciones del viento con diversas procedencias, aspecto que se atribuye a su ubicación en el municipio de Dibulla, a una distancia representativa con respecto a las demás estaciones que se encuentran al centro del departamento de la Guajira. Adicionalmente, estas estaciones se

sitúan cercanas a la Sierra Nevada. Por tanto, es consecuente la variación en los resultados meteorológicos. Por último, para estas estaciones no se cuenta con información de viento para el año 2022, debido a que el reporte de información inició en julio de dicho año.

Finalmente, el análisis de la rosa de los vientos acumulada (2020-2024), confirma las tendencias antes relacionadas, demostrando que los vientos tienden a dirigirse del Noreste al Suroeste y de Norte a Sur, en la mayoría de las estaciones analizadas. Las velocidades registradas pueden favorecer la re-suspensión del material particulado hacia estas zonas, esta tendencia fue similar en los años objeto de análisis.

Figura 13. Rosas de viento para las estaciones de calidad del aire en 2020-2024



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

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

Con el objetivo de profundizar en el análisis de tendencias de concentración, se generaron gráficos polares anulares que permiten visualizar simultáneamente la variación horaria de las concentraciones y su relación con la dirección del viento. Estos gráficos son especialmente útiles para detectar fuentes emisoras recurrentes, así como para comprender cómo las condiciones meteorológicas influyen en la distribución de los contaminantes a lo largo del día.

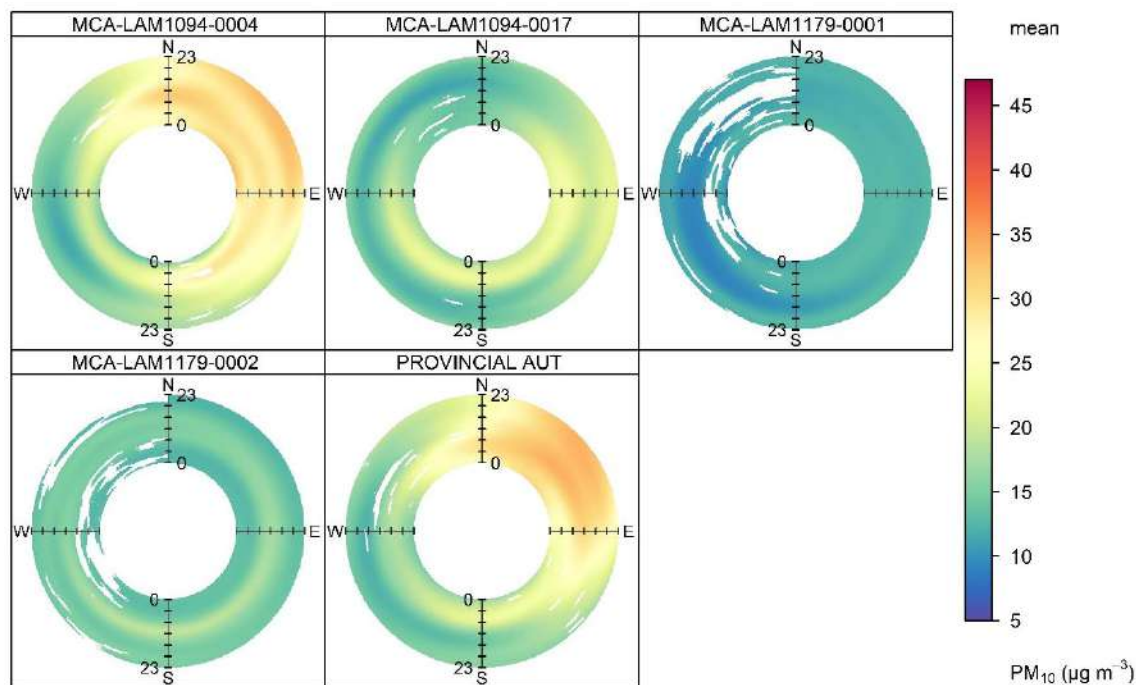


A partir del análisis de los gráficos polares anulares correspondientes al periodo 2020-2024, se identifican patrones espaciales y temporales relevantes en las concentraciones de material particulado (PM_{10}) para las estaciones evaluadas (Figura 14).

De acuerdo con la Figura 14, se evidencia un comportamiento variable entre estaciones, donde MCA-LAM1094-0004 y MCA-LAM1094-0017 presentan concentraciones promedio más elevadas ($>30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en horas diurnas (cercas al mediodía) y direcciones predominantes del noreste (NE) y suroeste (SW), sugiriendo posibles influencias de fuentes antropogénicas en dichas direcciones. En contraste, las estaciones MCA-LAM1179-0001 y MCA-LAM1179-0002 presentan concentraciones predominantemente bajas ($<20 \mu\text{g}/\text{m}^3$), con mayor estabilidad y dispersión uniforme, lo que podría indicar menor influencia de fuentes directas o presencia de mejores condiciones de dispersión atmosférica. Finalmente, la estación PROVINCIAL AUT muestra un comportamiento mixto, con concentraciones moderadas en sectores nororientales, lo que podría asociarse posiblemente con emisiones de tráfico o actividades puntuales.

La distribución direccional también sugiere patrones de transporte de contaminantes modulados por los vientos locales, reforzando la necesidad de integrar estos resultados con análisis de rosas de viento y datos meteorológicos para identificar fuentes emisoras relevantes y caracterizar su comportamiento temporal.

Figura 14. Gráficos polares anulares para las estaciones de calidad del aire (PM_{10}) de 2020-2024



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

Respecto a los gráficos polares asociados al material particulado $PM_{2.5}$, para el periodo 2022-2024 (Figura 15), se evidencia un comportamiento diferenciado entre estaciones, en función





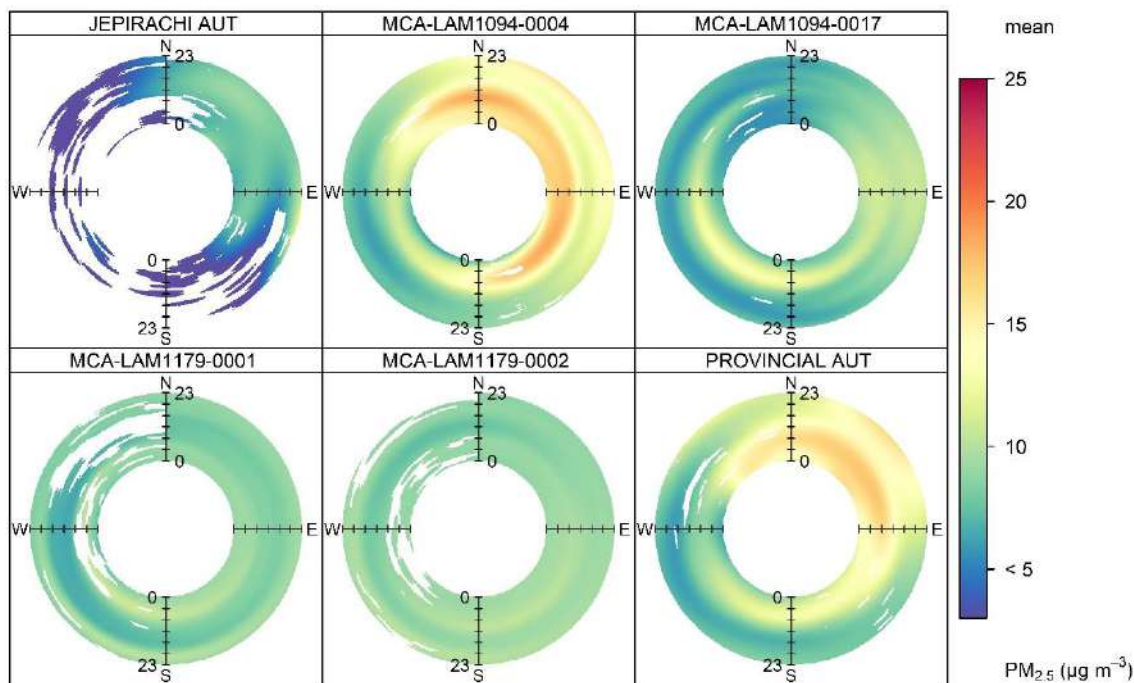
de la influencia local de fuentes emisoras, la dispersión atmosférica y los patrones de viento. Las estaciones MCA-LAM1094-0004 y PROVINCIAL AUT registran las concentraciones promedio más elevadas (20–25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), con incrementos hacia el noreste (NE) y sur (S), en horas cercanas al mediodía, lo que sugiere posible influencia de fuentes móviles o fijas activas en esas direcciones.

La estación MCA-LAM1094-0017 presenta un patrón más homogéneo, con valores entre 10 y 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ligeramente más altos hacia el norte, posiblemente por efecto del transporte de contaminantes. Por otro lado, JEPİRACHI AUT muestra las concentraciones más bajas, predominando valores menores a 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con dirección dominante desde el sureste (SE), lo que indica buena calidad del aire en esta zona y limitada influencia de fuentes locales.

Las estaciones MCA-LAM1179-0001 y MCA-LAM1179-0002 presentan bajos niveles de concentración con distribución uniforme, lo cual puede estar relacionado con una buena ventilación atmosférica o ausencia significativa de fuentes emisoras cercanas.

En términos generales, el análisis direccional y horario refleja la influencia de los vientos dominantes y las dinámicas de actividad antrópica sobre la variabilidad del $\text{PM}_{2.5}$, recomendándose complementar con información meteorológica y análisis de fuentes para establecer relaciones causales más robustas.

Figura 15. Gráficos polares anulares para las estaciones de calidad del aire ($\text{PM}_{2.5}$) de 2020-2024



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





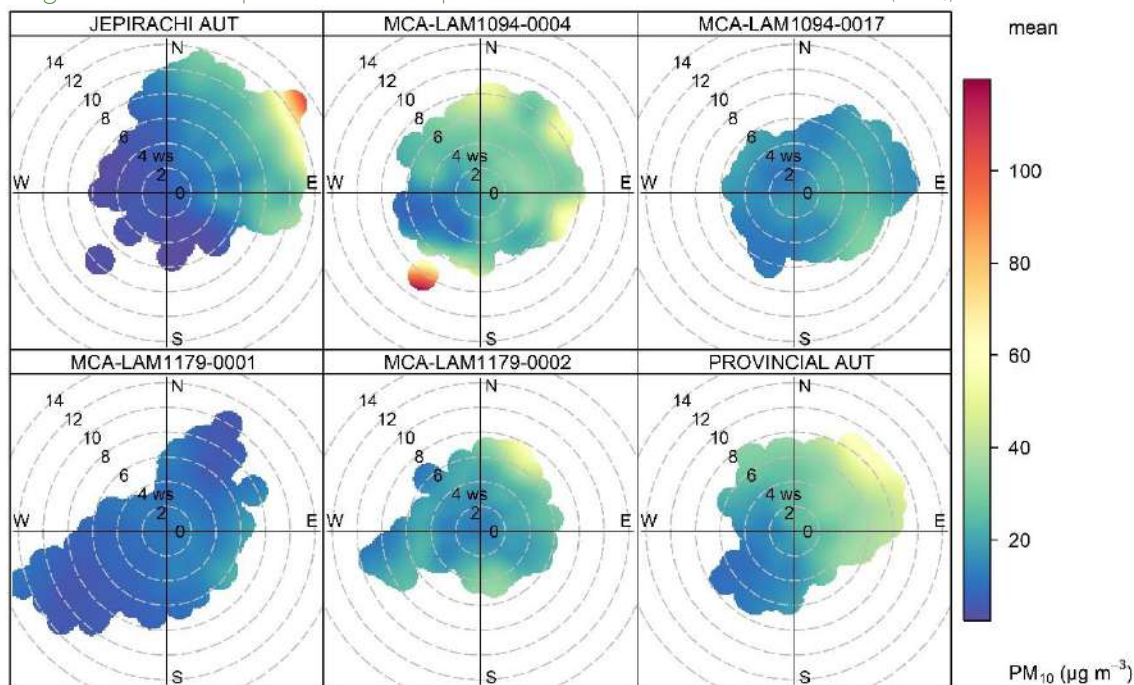
Al reemplazar la variable hora del día por la velocidad del viento en los diagramas anulares, se obtuvo una visualización complementaria que permite evaluar la influencia combinada de la dirección y la velocidad del viento en las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$, para el periodo de 2022 a 2024.

En relación con el parámetro PM_{10} (Figura 16), se identificó que, la estación MCA-LAM1094-0004 presenta picos de concentración superiores a $100 \mu g/m^3$ desde el este y sureste, lo cual podría indicar la presencia de fuentes emisoras puntuales o actividades industriales en esas direcciones. De forma similar, la estación MCA-LAM1094-0017 evidencia una alta carga de PM_{10} proveniente del este, especialmente asociada a velocidades de viento entre 4 y 8 m/s, lo que sugiere transporte regional de contaminantes.

En contraste, estaciones como JEPİRACHI AUT, MCA-LAM1179-0001 y MCA-LAM1179-0002 muestran concentraciones notablemente más bajas y distribuidas, con predominancia de vientos desde el norte y oeste, lo que indicaría una atmósfera más limpia y menor influencia de fuentes locales o regionales. La estación PROVINCIAL AUT refleja concentraciones moderadas, con incrementos leves hacia el noreste y velocidades inferiores a 6 m/s.

En conjunto, estos diagramas evidencian la fuerte influencia de la dirección y velocidad del viento sobre la dispersión del PM_{10} , y resaltan la necesidad de seguir dando seguimiento a estudios complementarios como lo son los inventarios de emisiones y modelación de dispersión para determinar con mayor certeza las fuentes responsables.

Figura 16. Gráficos polares anulares para las estaciones de calidad del aire (PM_{10}) en 2022-2024



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

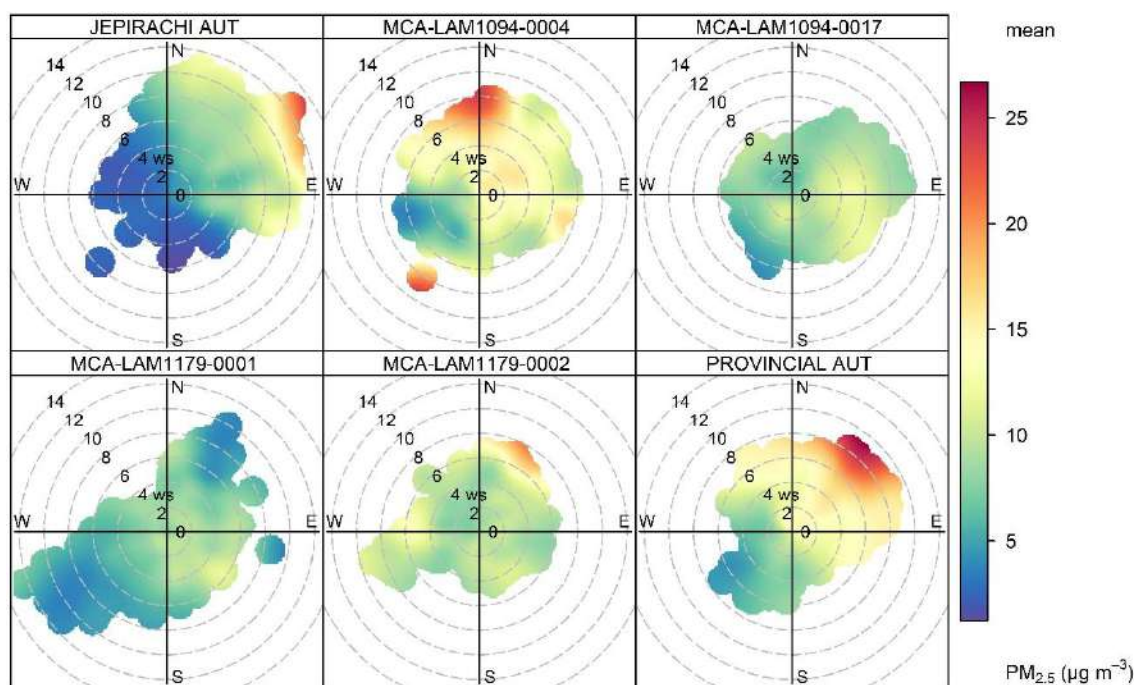




Respecto a material particulado $PM_{2.5}$ (Figura 17), se observa que las estaciones MCA-LAM1094-0004, PROVINCIAL AUT y MCA-LAM1179-0002 registran los niveles más elevados, superando los $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, principalmente desde los sectores noreste (NE) y sureste (SE). Esto sugiere la presencia de fuentes emisoras en esas direcciones, posiblemente asociadas a actividades urbanas, industriales o de transporte. La estación MCA-LAM1094-0017 evidencia una concentración moderada de partículas provenientes del este (E), mientras que JEPIRACHI AUT y MCA-LAM1179-0001 mantienen niveles relativamente bajos, con máximos en el rango de $10\text{--}15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que indica una mejor calidad del aire y menor influencia de fuentes locales.

En términos generales, se evidencia una relación clara entre la dirección del viento y el arrastre de contaminantes, especialmente en sectores donde las velocidades superan los 4 m/s , lo cual refuerza la importancia de considerar el transporte regional en el análisis de $PM_{2.5}$. Este tipo de herramienta gráfica resulta clave para orientar estrategias de gestión de la calidad del aire, priorizando el control de emisiones en las direcciones predominantes detectadas.

Figura 17. Gráficos polares anulares para las estaciones de calidad del aire ($PM_{2.5}$) en 2022-2024



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

4.2.4. Análisis de ciclos temporales

Los datos horarios obtenidos de las estaciones automáticas permiten identificar las tendencias promedio de las concentraciones a lo largo del día, así como su variación según el mes del año y el día de la semana. En la Figura 18 se muestran estas tendencias para el año





2024, donde las concentraciones de $PM_{2.5}$ se representan en color verde y las de PM_{10} en color azul.

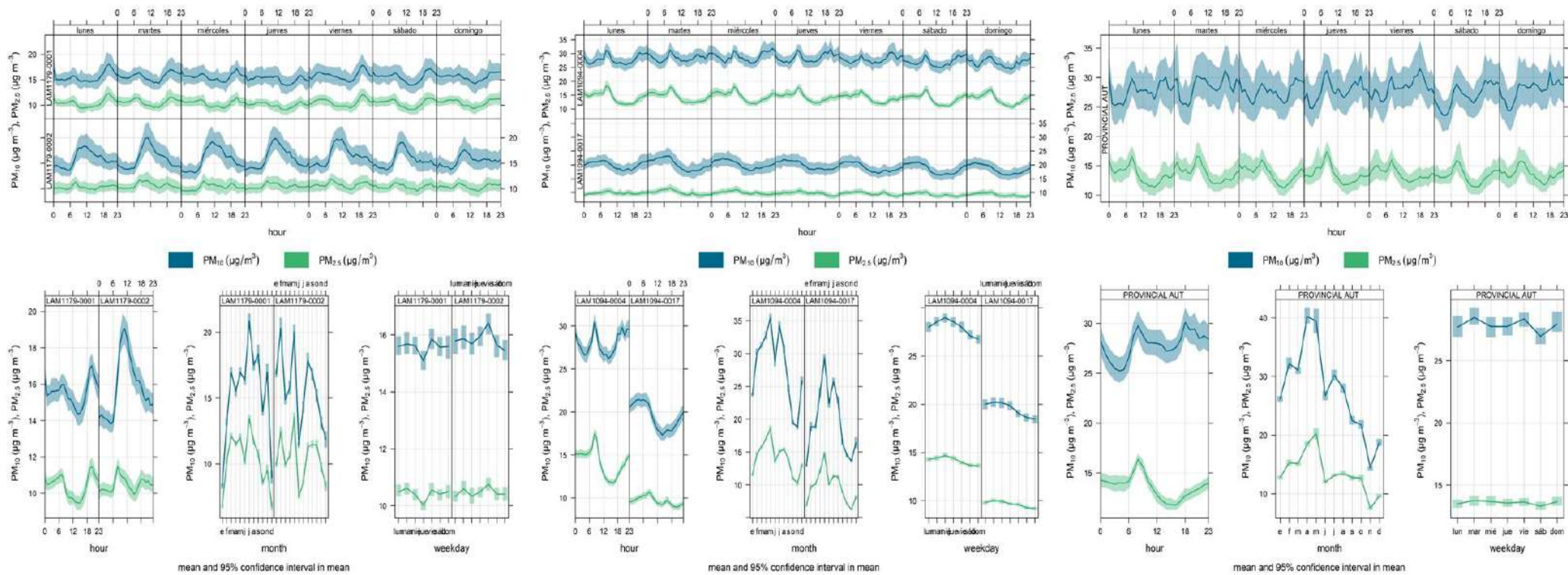
- Variación horaria: El análisis por hora del día revela un patrón consistente en todas las estaciones, caracterizado por dos picos de concentración: el primero en horas de la mañana (aproximadamente entre 6:00 y 9:00) y el segundo en horario nocturno (alrededor de las 19:00 a 22:00) cuando la atmósfera es más estable y la dispersión de contaminantes se dificulta. Durante las horas del mediodía y primeras de la tarde (12:00 a 16:00) las concentraciones tienden a disminuir, lo cual es posible asociar a las dinámicas del tráfico vehicular en la región y debido a que la atmósfera se vuelve más inestable bajo una mayor radiación solar. Esta inestabilidad favorece la mezcla vertical y la dilución de los contaminantes, mejorando las condiciones de dispersión.
- Variación diaria: El comportamiento horario descrito se mantiene de manera similar en cada día de la semana. No obstante, se observa una disminución en los niveles de concentración durante los domingos en algunas estaciones, como MCA-LAM1094-0017, lo cual puede asociarse a la reducción de la movilidad vehicular y de actividades industriales durante el fin de semana. En los días restantes, particularmente de lunes a viernes, se presentan valores comparables y con aumentos en las horas pico de movilidad vehicular.
- Variación mensual: Se identifican fluctuaciones marcadas por las temporalidades de lluvias. Los niveles más altos de PM_{10} y $PM_{2.5}$ se registran principalmente durante los meses secos (de abril a julio). Por el contrario, los meses de inicio y final del año se presentan los niveles más bajos, dada una mayor incidencia de las precipitaciones. Este comportamiento es más relevante en PM_{10} , sin embargo, el $PM_{2.5}$ expone la misma tendencia en menor magnitud.

Estos resultados permiten inferir que las concentraciones de material particulado están fuertemente influenciadas por las fuentes móviles (principalmente el tráfico vehicular) y por factores meteorológicos y estacionales que afectan su dispersión. El comportamiento observado resalta la necesidad de intensificar las medidas de manejo en las horas pico de movilidad vehicular y en los meses con bajas precipitaciones que permitan facilitar el cumplimiento de los estándares nacionales en términos de calidad del aire.





Figura 18. Tendencias temporales de las estaciones de calidad del aire en 2024



Fuente: ANLA - SIPTA, a partir de los datos radicados por los expedientes LAM1179, LAM1094 y CORPOGUAJIRA



4.2.5. Análisis del Índice de Calidad del Aire – ICA

A continuación, se presenta el análisis de los índices de Calidad de Aire ICA diarios de PM₁₀ y PM_{2.5}, con base en lo reglamentado por el Capítulo IV de la Resolución 2254 del 01 de noviembre de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. De igual forma, en el Anexo 1 se detallan los resultados del índice de Calidad de Aire para todos los datos disponibles con su respectiva representación gráfica.

Es importante destacar que, de acuerdo con dicha resolución, 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 del 1 de noviembre de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

4.2.5.1. ICA – Material particulado PM₁₀

La Figura 19. , presenta la distribución porcentual de las categorías ICA de PM₁₀ en las estaciones de monitoreo que hacen parte de la estrategia de monitoreo para el año 2024. En general, se observa un predominio de la condición Buena, con porcentajes que en la mayoría de las estaciones superan el 90 %.

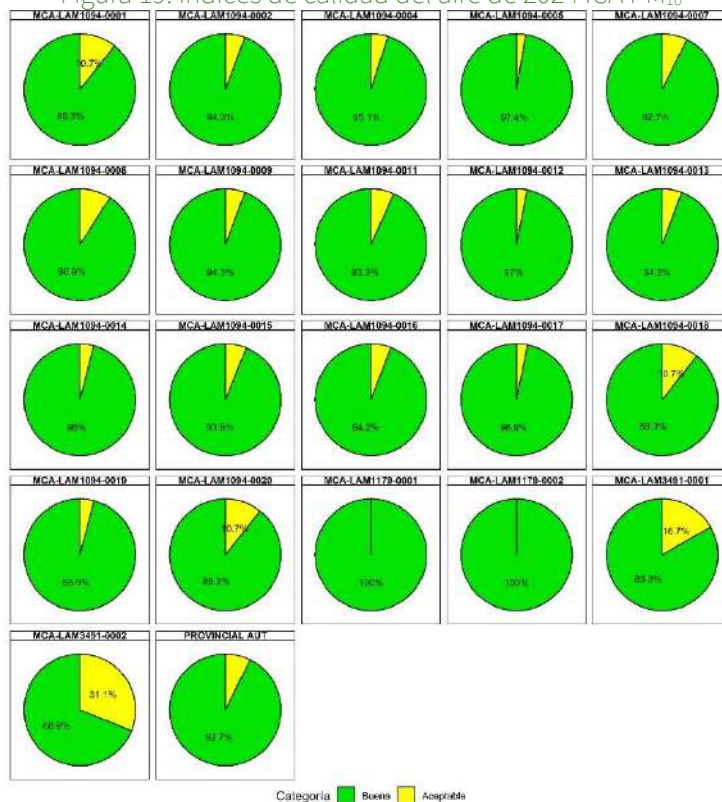




Cabe destacar que dos estaciones, MCA-LAM1179-0001 y MCA-LAM1179-0002 presentan un 100 % en condición de calidad Buena, lo que indica condiciones óptimas durante todo el periodo evaluado. En contraste, la estaciones MCA-LAM3491-0001 y MCA-LAM3491-0002 muestran la proporción más alta de la condición Aceptable (16.7 % y 31.1 %, respectivamente), lo que las convierte en las estaciones de mayor atención.

En conjunto, los datos reflejan que la calidad del aire para el parámetro PM₁₀ en la mayoría de las estaciones de monitoreo supone un riesgo bajo para la salud; sin embargo, las estaciones MCA-LAM3491-0001 y MCA-LAM3491-0002 al presentar un mayor porcentaje de niveles en condición Aceptable requiere de un seguimiento más riguroso para identificar posibles fuentes locales o variaciones ambientales específicas, con el fin de prevenir un posible deterioro en la calidad del aire. Cabe aclarar que estas dos estaciones corresponden a puntos de vigilancia ocupacional y, por lo tanto, no se encuentran ubicadas sobre receptores sensibles.

Figura 19. Índices de calidad del aire de 2024 ICA PM₁₀



Fuente: ANLA – SIPTA, 2025 a partir de los datos radicados por los expedientes LAM1094, LAM1179, LAM3491 y CORPOGUAJIRA





4.2.5.2. ICA – Material particulado $PM_{2.5}$

La Figura 20, presenta la distribución porcentual de las categorías ICA de $PM_{2.5}$ en las estaciones de monitoreo que hacen parte de la presente estrategia.

En comparación con los datos de PM_{10} , el comportamiento del $PM_{2.5}$ presenta una mayor proporción de registros en la categoría Aceptable, e incluso se evidencian casos con porcentajes superiores al 50 % en dicha categoría. El número de estaciones con predominio de categoría Buena es menor, aunque algunas mantienen proporciones altas en esta condición, destacando MCA-LAM1179-0001 con 84.4 % y MCA-LAM1179-0002 con 79.5 %.

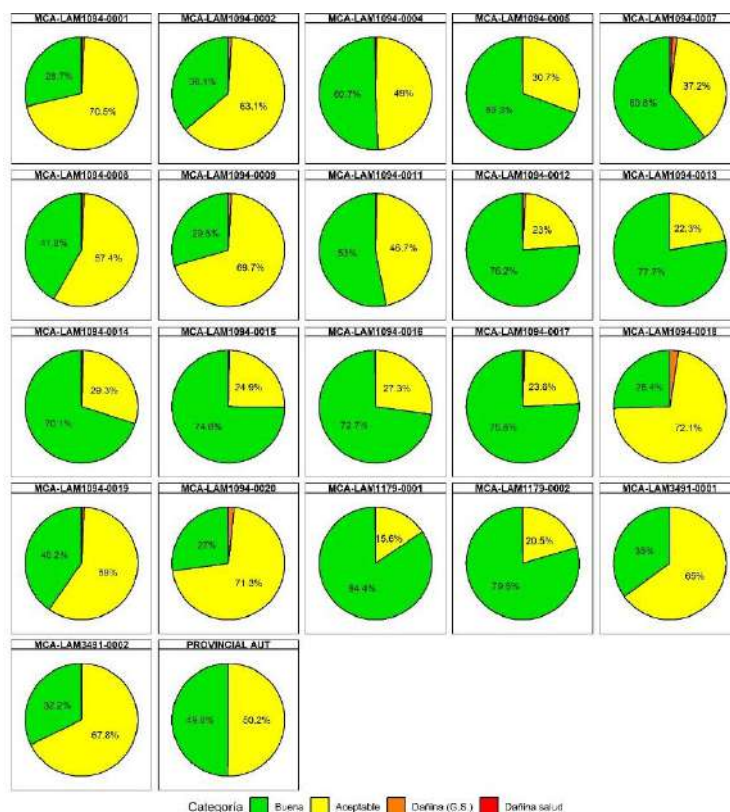
Cabe resaltar que en varias estaciones (como MCA-LAM1094-0007, MCA-LAM1094-0018 y MCA-LAM1094-0020) aparecen pequeñas fracciones en la condición de Dañina a la Salud de Grupos Sensibles, indicando episodios puntuales en los que la calidad del aire no es apta para la exposición de grupos poblacionales sensibles, lo que requiere un especial seguimiento e intensificación de las medidas de manejo y control ambiental.

En conclusión, los resultados evidencian que el $PM_{2.5}$ tiene una condición más crítica que el PM_{10} , ya que más estaciones presentan niveles en condiciones aceptables o dañinas, lo que puede implicar un mayor riesgo para poblaciones vulnerables y resalta la necesidad de priorizar acciones de control y prevención en las zonas con mayor frecuencia de concentraciones elevadas.





Figura 20. Índices de calidad del aire de 2024 ICA PM_{2.5}



Fuente: ANLA – SIPTA, 2025 a partir de los datos radicados por los expedientes LAM1094, LAM1179, LAM3491 y CORPOGUAJIRA

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 Guajira, resulta pertinente mencionar 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 este contexto, las sentencias constituyen un tipo de orden judicial que puede incluir mandatos específicos de cumplimiento. En el área de estudio, la Subdirección de Seguimiento de Licencias Ambientales de la ANLA realiza seguimiento específico a la Sentencia T-614 de 2019. Asimismo, los resultados de calidad del aire de la estación asociada a la comunidad referida en dicha sentencia son analizados de manera integral en el presente informe.





Por otra parte, 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. Para el área de la estrategia se registran dos (2) procesos sancionatorios cuyos hechos motivantes se relacionan con el presunto incumplimiento del Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire. Dichos incumplimientos comprenden la no aplicación de los lineamientos establecidos en el protocolo y el incumplimiento de obligaciones técnicas específicas para estaciones de monitoreo —en particular, lo dispuesto en el numeral 6.4 para la estación E-3—, situación que afecta la representatividad de los muestreos y su utilidad para la comparación normativa y la toma de decisiones por parte de la autoridad ambiental.

4.3. MODELACIÓN DE DISPERSIÓN DE MATERIAL PARTICULADO PM₁₀-PM_{2.5}

Este apartado presenta el modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos específicamente para material particulado PM₁₀ y PM_{2.5}, desarrollado por el Centro de Monitoreo de los Recursos Naturales de la ANLA. El modelo adopta un enfoque regional para evaluar el estado de la calidad del aire en la Guajira, considerando los proyectos licenciados por la ANLA que cuentan con una estrategia de monitoreo regional. Para ello se integran los reportes contenidos en los Informes de Cumplimiento Ambiental (ICA) del año 2024 (ver Tabla 6) los cuales incluyen inventario de emisiones, dinámica meteorológica y características topográficas en el entorno de cada proyecto.

Considerando la extensión del área de estudio, la región se subdivide en tres (3) dominios asociados a las restricciones de representatividad espacial de la información meteorológica y limitaciones del modelo AERMOD. De forma complementaria, se realizó una modelación de condiciones prospectivas a partir de las proyecciones climáticas futuras bajo el escenario SSP370. Este escenario representa un mundo regionalizado con alta desigualdad y emisiones elevadas, caracterizado por altas variaciones en la precipitación y la temperatura media.

Tabla 6. Proyectos incluidos en modelación de La Guajira

Zona	Proyecto/Fuente	Expediente	Escenario	Inventario Emisiones
Zona 1 Minas	Mina el Cerrejón	LAM1094	Estado Actual	2024
	Mina CAYPA	LAM3491	Estado Actual	2024
Zona 2 Puerto Bolívar	Puerto Bolívar	LAM1094	Estado Actual	2024
Zona 3 Puerto y Central térmica-	Puerto Brisa	LAM2619	Estado Actual	2024
	Gecelca	LAM1179	Estado Actual	2024
Zona 4 Línea Férrea	Línea Férrea Cerrejón	LAM1094	Estado Actual	2024

Fuente: ANLA - SIPTA, 2025

El objetivo de la modelación atmosférica es determinar el impacto acumulativo en el componente atmosférico que podría presentarse en el área donde se implementa la estrategia de monitoreo de la región de la Guajira. Para ello, se integran las principales fuentes de emisión atmosférica asociadas a los POA's correspondientes al año 2024, para los



cuales se cuenta con información actualizada. En particular, las actividades relacionadas con los expedientes LAM3491, LAM1094, LAM2619 y LAM1179.

4.3.1. PARAMETRIZACIÓN.

Durante el desarrollo de la modelación atmosférica, se identificaron varias restricciones y/o limitaciones, principalmente relacionadas con la exclusión de fuentes de emisión de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) que no son competencia del control y seguimiento de la ANLA. Estas fuentes incluyen:

- 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 implementación del modelo de dispersión de contaminantes en la región de la Guajira se empleó el modelo AERMOD, recomendado por la EPA, integrando la siguiente información meteorológica:

- Meteorología WRF del expediente LAM1094 (Mina Cerrejón) para el Zona 1.
- Meteorología WRF del expediente LAM1094 (Puerto Bolívar) para el Zona 2.
- Meteorología WRF del expediente LAM1179 (Gecelca) para el Zona 3.

Referente a las tasas de emisión se realizó la asignación de la siguiente forma:

- Información primaria:
 - Soportes de modelación de cada expediente.
 - Estudios isocinéticos: Fuentes fijas termoeléctrica LAM1179 - Gecelca.
- Escenarios de modelación:
 - Escenario Actual: Basado en las actividades desarrolladas en 2023 por los proyectos incluidos en la estrategia de monitoreo.
 - Cambio climático: SSP3-7.0: Escenario que representa un mundo regionalizado con alta desigualdad y emisiones elevadas.
- Receptores sensibles:
 - Se utilizó la herramienta Microsoft Building Footprints para identificar edificaciones en el área de interés, tomando como referencia un buffer de 20 km alrededor de las zonas de los proyectos considerados. Esto permitió detectar posibles receptores sensibles, como viviendas u otras construcciones expuestas. Para optimizar el análisis, se aplicó un algoritmo de clustering espacial mediante DBSCAN con un radio de agrupamiento de 100 metros, seleccionando un punto representativo por grupo. Esto permitió reducir la densidad de puntos a una muestra de 2712 receptores, sin

comprometer la distribución espacial ni la representatividad del conjunto original. De igual forma, se incluyeron las estaciones de monitoreo del sistema de vigilancia permanente instaladas por las Sociedades que hacen parte de la Estrategia de Monitoreo Regional.

- Concentración de Fondo:

Considerando la dinámica del comportamiento del viento descrito en el capítulo 3.2.2 y la Actualización del Reporte de Análisis Regional de la Guajira, se identifica que la estación MCA-LAM1094-0012 (Estación Huarurapay), ubicada en el sector norte de la región, representa adecuadamente la condición de fondo. La concentración de fondo se estimó utilizando el percentil 50 o mediana de la serie temporal entre 2022 y 2024.

- Concentración de fondo PM₁₀: 17,032 µg/m³
- Concentración de fondo PM_{2.5}: 8,48 µg/m³

Es importante precisar que esta metodología de modelación se implementa con la finalidad de evaluar, bajo un alcance regional, el impacto acumulativo del componente atmosférico empleando información de los proyectos licenciados por la ANLA que cuentan con estrategia de monitoreo regional en términos de calidad de aire. Sin embargo, no reemplaza los lineamientos establecidos para la estimación de emisiones indicado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible ni la Metodología General vigente para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales vigentes.

4.3.2. RESULTADOS.

Frente a los resultados de PM₁₀ y PM_{2.5}, en la Tabla 7 se presentan las estadísticas descriptivas correspondientes a los puntos denominados como receptores sensibles, seleccionados conforme a la metodología definida en el numeral 3.3.1.

Tabla 7. Estadísticos Concentraciones anuales sobre receptores discretos – Escenario Actual

Contaminante	Escenario	Media	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación estándar
PM10	Actual	17,73	17,16	44,68	17,03	1,71
PM2.5	Actual	8,62	8,50	13,53	8,48	0,31

Fuente: ANLA - SIPTA, 2025

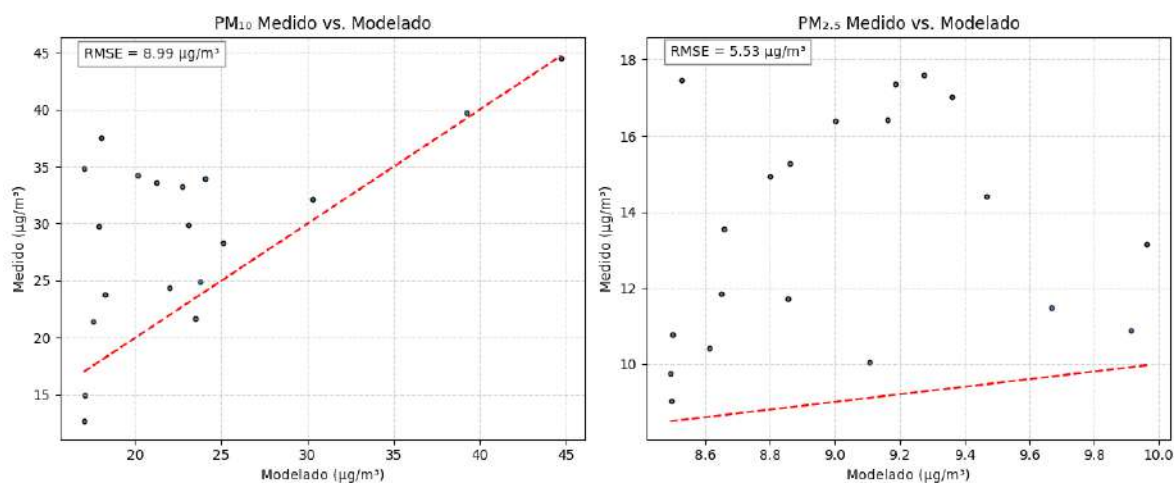
Producto de la modelación regional, los resultados muestran que las concentraciones anuales de PM₁₀ y PM_{2.5} en los receptores sensibles presentan una distribución estable y de baja dispersión espacial, con promedios de 17,73 µg/m³ y 8,62 µg/m³ respectivamente. Esta baja variabilidad se debe, en parte, al aporte significativo de la concentración de fondo considerada en el modelo (17,03 µg/m³ para PM₁₀ y 8,48 µg/m³ para PM_{2.5}), lo que indica una carga base relativamente uniforme en el territorio.

Sin embargo, los valores máximos registrados (61,88 µg/m³ para PM₁₀ y 13,53 µg/m³ para PM_{2.5}) permiten identificar zonas de mayor sensibilidad ambiental. En estas áreas, la

interacción entre las emisiones locales y las condiciones de fondo puede generar incrementos los niveles de inmisión atribuibles a los proyectos evaluados.

Comparación con los datos medidos: Para validar los resultados de la modelación, se realizó una comparación de los resultados de modelación de PM_{10} y $PM_{2.5}$ y los datos medidos a través del SCVCA. La Figura 21 presenta dicha comparación.

Figura 21. Comparación entre concentraciones modeladas y medidas de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en receptores sensibles



Fuente: ANLA - SIPTA, 2025

De acuerdo con la figura 21, el análisis comparativo entre la información medida y los resultados modelados para PM_{10} evidencia que el modelo presenta cierta dispersión respecto a la línea 1:1. En particular, se observa una tendencia a subestimar los valores intermedios ($25\text{--}35\ \mu\text{g}/\text{m}^3$), mientras que los valores altos puntuales (cerca de los $45\ \mu\text{g}/\text{m}^3$) muestran mejor correspondencia con lo medido. El Error Cuadrático Medio (RMSE) de $8.99\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ refleja una variación moderada frente a los datos observados, lo cual resulta razonable considerando que se trata de un modelo regional.

En el caso de $PM_{2.5}$, el modelo muestra un comportamiento más marcado de subestimación sistemática en la mayoría de los puntos, ya que las concentraciones medidas se encuentran consistentemente por encima de las modeladas. Además, el modelo reproduce un rango más estrecho de concentraciones, lo que limita su capacidad para capturar la variabilidad observada a través de mediciones realizadas. Aunque el RMSE ($5.53\ \mu\text{g}/\text{m}^3$) es más bajo que en PM_{10} , en términos relativos resulta más significativo debido a que las concentraciones de $PM_{2.5}$ son más bajas y se concentran en un rango reducido.

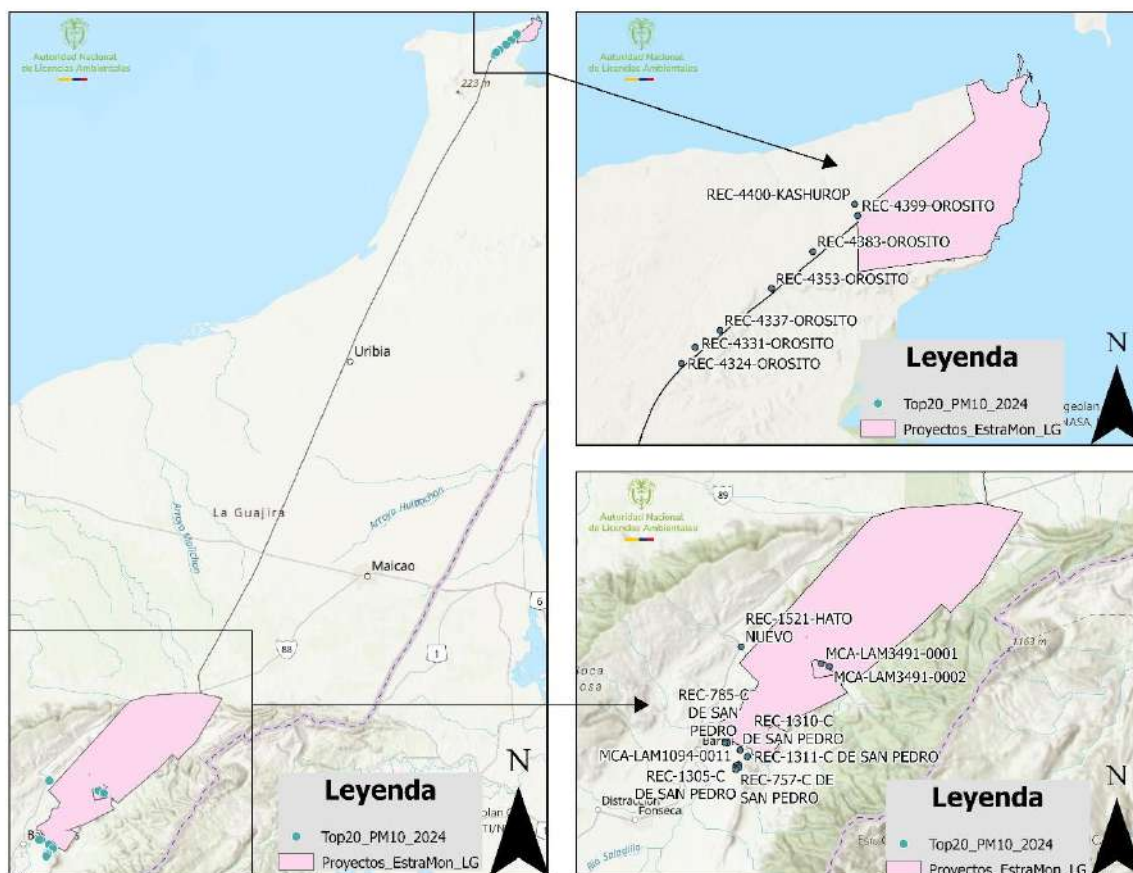
Es importante precisar que el modelo únicamente contempla las fuentes licenciadas por la ANLA, por lo que otras fuentes adicionales no son consideradas en el inventario de emisiones. Esto genera que dichas fuentes no queden correctamente descritas dentro de la modelación y explica, en parte, la subestimación sistemática observada. No obstante, para las estaciones cercanas al área industrial del Proyecto LAM3491, los resultados de PM_{10}

muestran una mejor correspondencia entre lo modelado y lo medido, lo que refuerza la validez del ejercicio en contextos donde las principales fuentes están incluidas.

En conjunto, los resultados sugieren que, si bien el modelo presenta limitaciones para representar la variabilidad local por la ausencia de algunas fuentes, constituye una herramienta válida y útil en el contexto regional para identificar patrones generales, áreas sensibles y estimar la acumulación de impactos en la calidad del aire.

Como complemento al análisis de modelación, se presenta el listado de los 20 receptores sensibles con mayor aporte de PM_{10} y $PM_{2,5}$, se presenta en la Figura 22.

Figura 22. Top 20 receptores sensibles con mayor aporte de PM_{10} : Concentración ($\mu g/m^3$)

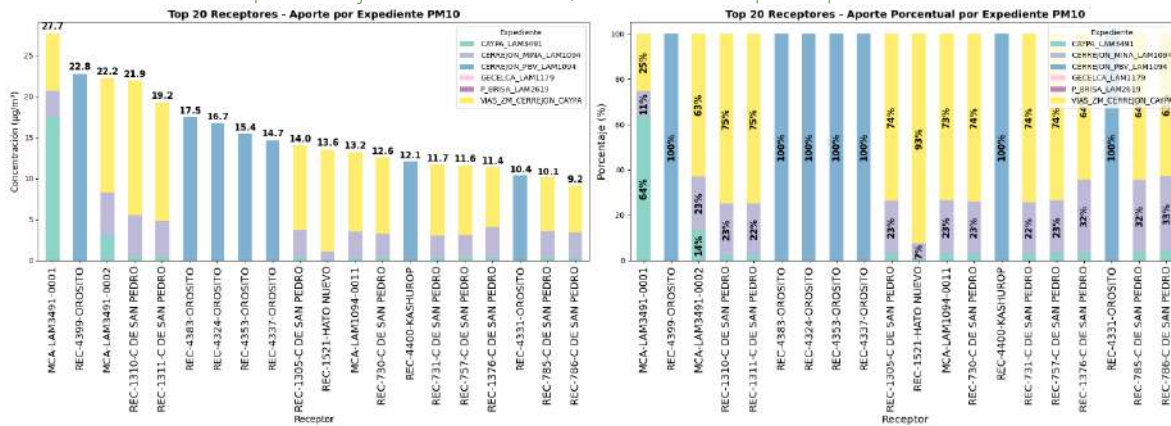


Fuente: ANLA - SIPTA, 2025

La información del análisis de receptores se encuentra ordenada de acuerdo con la concentración ($\mu g/m^3$) y el porcentaje de contribución, y el aporte en cada una de las estaciones de monitoreo que hacen parte de la estrategia de monitoreo regional. La información se organiza por expediente, lo que permite identificar los aportes acumulativos de cada proyecto en la región.

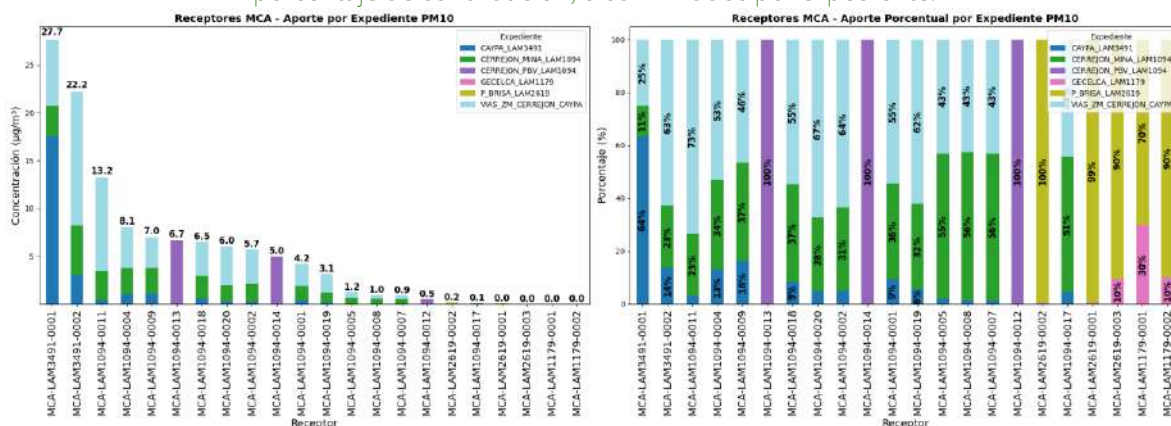


Figura 23. Top 20 receptores sensibles con mayor aporte de PM₁₀: Concentración (µg/m³) y porcentaje de contribución, discriminados por expediente.



Fuente: ANLA - SIPTA, 2025

Figura 24. Relación de aporte estaciones de monitoreo regional de PM₁₀: Concentración (µg/m³) y porcentaje de contribución, discriminados por expediente.



Fuente: ANLA - SIPTA, 2025

Las Figuras 23 y 24, permiten evidenciar que la contribución conjunta de los proyectos en los niveles de PM₁₀ en los receptores sensibles (sin considerar la concentración de fondo) confirman la presencia de impactos acumulativos, particularmente en las zonas más próximas al desarrollo de actividades de explotación minera de los expedientes LAM1094 y LAM3491. En estas áreas se destaca el aporte de las vías, el cual oscila entre el 64 % y el 94 %, constituyéndose en la principal fuente dentro de los niveles de inmisión obtenidos en la modelación. Por esta razón, resulta prioritario fortalecer las actividades de control y seguimiento que eviten la re-suspensión de material particulado en dichas vías, situación más crítica durante los periodos de bajas precipitaciones, en los que se incrementa la susceptibilidad a elevar los niveles de PM₁₀, tal como se observó en el análisis de los ciclos mensuales. Esto implica que las medidas de control propuestas en los diferentes instrumentos deben intensificarse en los meses en los que ocurre este fenómeno.

En contraste, en el punto de monitoreo correspondiente al expediente LAM3491 (ubicado dentro del proyecto minero y que no corresponde a un receptor sensible), el aporte está



dominado por las actividades de la mina Caypa, aunque la modelación evidencia también incidencia de las operaciones del proyecto Cerrejón.

De manera particular, se identificaron dos receptores en la vereda C San Pedro (municipio de Barrancas), localizados entre 400 y 1000 metros al sur del área de Cerrejón. En estos sitios, los aportes de las vías de los complejos mineros más cercanos alcanzan hasta el 75 %, mientras que las actividades propias de Cerrejón representan entre el 11 % y el 23 %. El aporte combinado de las distintas fuentes puede llegar hasta $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$, configurando escenarios de acumulación que reflejan la interacción de diferentes proyectos en los niveles de concentración de PM_{10} .

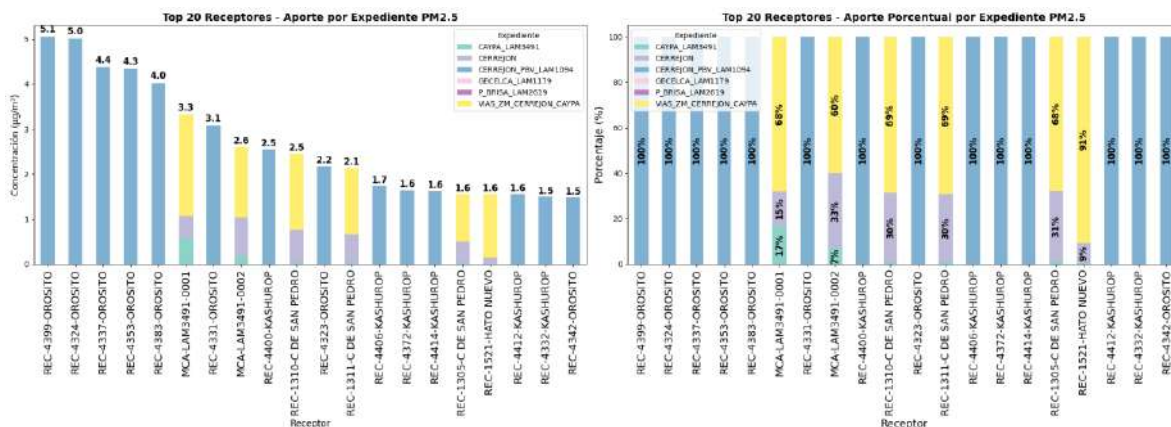
Asimismo, se resalta que, en los 20 receptores con mayores aportes, el material particulado puede representar entre el 18 % y el 54 % del valor de referencia normativo. El análisis porcentual evidencia que en varios receptores la contribución es dominada por un único proyecto, llegando en algunos casos al 70–100 %, lo que indica que la carga de material particulado está fuertemente asociada a fuentes puntuales específicas. En otros receptores, los porcentajes se distribuyen entre varios expedientes, lo que refleja un efecto acumulativo derivado de la concurrencia de diferentes proyectos, especialmente en áreas próximas a las zonas de explotación minera. En la zona del puerto, al norte del departamento, los receptores con mayor probabilidad de impactos se encuentran en inmediaciones de sus instalaciones.

En conclusión, los resultados muestran que, si bien existen receptores críticos dominados por un solo proyecto, también se presentan escenarios de acumulación donde confluyen varios expedientes. Esta situación resalta la importancia de continuar con evaluaciones integradas que permitan anticipar posibles acumulaciones en escenarios futuros o bajo condiciones operativas cambiantes, para lo cual resulta fundamental continuar con las mediciones de las estaciones de la estrategia regional de monitoreo de calidad del aire, tal como se ha realizado hasta la fecha.

Los resultados obtenidos para $\text{PM}_{2,5}$ se presentan en las Figuras 25 y 26, las cuales se detallan a continuación.

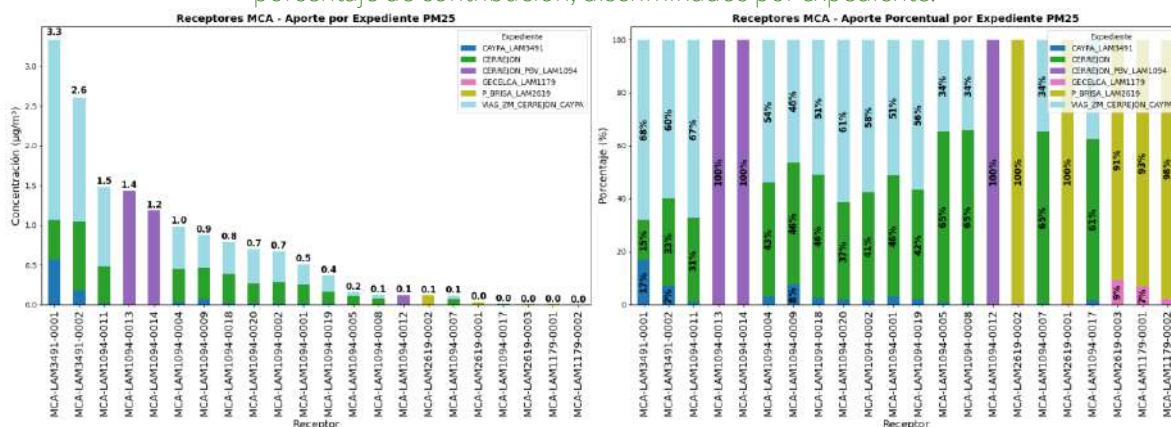
Figura 25. Top 20 receptores sensibles con mayor aporte de $\text{PM}_{2,5}$: Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y porcentaje de contribución, discriminados por expediente.





Fuente: ANLA - SIPTA, 2025

Figura 26. Relación de aporte estaciones de monitoreo regional de PM_{2.5}: Concentración (µg/m³) y porcentaje de contribución, discriminados por expediente.



Fuente: ANLA - SIPTA, 2025

En cuanto al PM_{2.5}, a diferencia del PM₁₀, los principales aportes de este contaminante se concentran en la zona norte, donde se ubica el Puerto. Por esta razón, no se espera la presencia de impactos acumulativos relevantes en esa área. En contraste, en la zona minera donde confluyen los proyectos de extracción de carbón de Caypa y Cerrejón, se destaca el aporte de los receptores ubicados en las veredas C San Pedro y Hato Nuevo. En estos sitios, la contribución está dominada por la red vial y el tránsito de flota vehicular (69–91 %), mientras que las actividades propias de la extracción minera representan entre un 9 % y un 33 %. De acuerdo con los resultados de la modelación, el aporte de este contaminante corresponde a un rango del 6% al 20 % respecto al valor de referencia anual.

Tal como se observa en las figuras 25 y 26, y sin considerar los receptores previamente analizados, en la mayoría de los casos se presenta una clara predominancia de un solo expediente. Este patrón indica que, aunque en algunos puntos existen contribuciones de múltiples fuentes y/o proyectos, las concentraciones están mayoritariamente asociadas a un único expediente. En consecuencia, se evidencia una baja interacción entre proyectos, a

diferencia de lo observado para PM_{10} , donde las interacciones fueron más frecuentes y relevantes. Esto reduce la importancia de los efectos acumulativos en el caso del $PM_{2.5}$.

No obstante, la presencia de aportes concurrentes, aunque baja, sigue siendo relevante desde una perspectiva preventiva. Por ello, se resalta la importancia de mantener sistemas de monitoreo permanentes como herramienta clave para la evaluación continua y oportuna de la calidad del aire en la región.

En complemento al análisis, las isopletras obtenidas para los dos escenarios y los dos contaminantes (Figura 27) ilustran espacialmente lo descrito previamente. Los resultados muestran que, debido a la distancia entre fuentes y a los procesos de dispersión atmosférica, no se espera una acumulación significativa de impactos asociados a los proyectos de los puertos ni a la generación de energía a partir de termoeléctricas. Asimismo, se advierte un posible cambio en la distribución espacial de las concentraciones bajo un escenario prospectivo de cambio climático, aunque los niveles se mantienen en intervalos similares a los actuales.



Figura 27. Isopletas PM10 y PM 2.5 - Tiempo de exposición anual

Contaminante

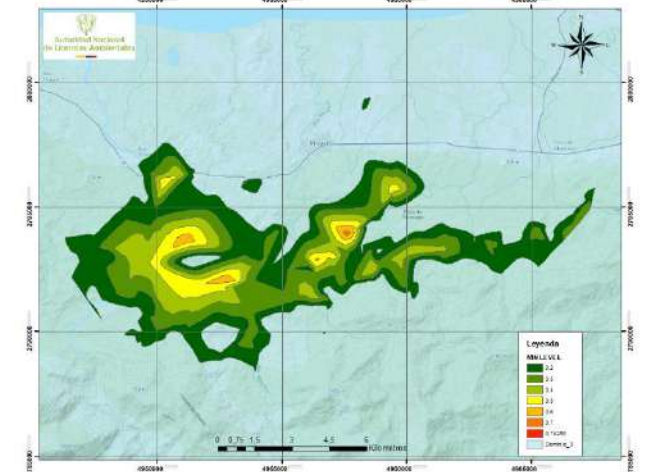
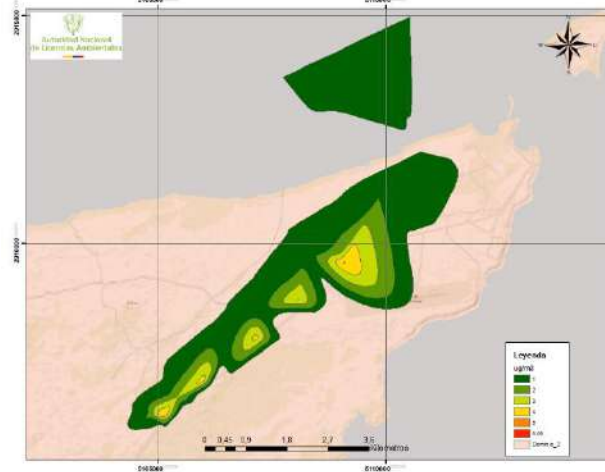
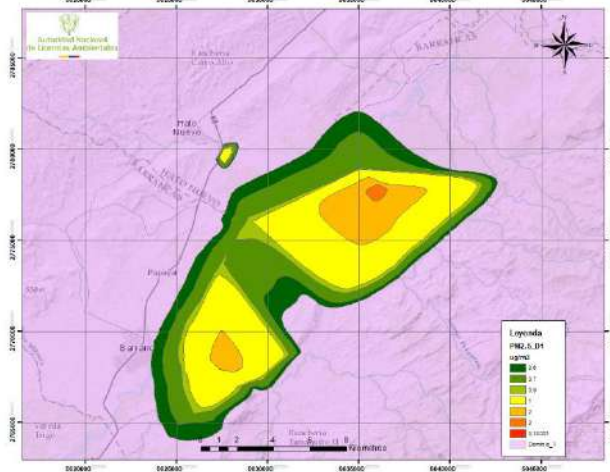
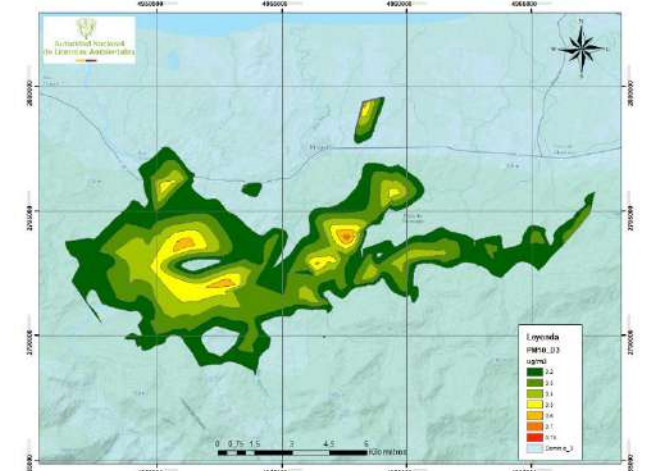
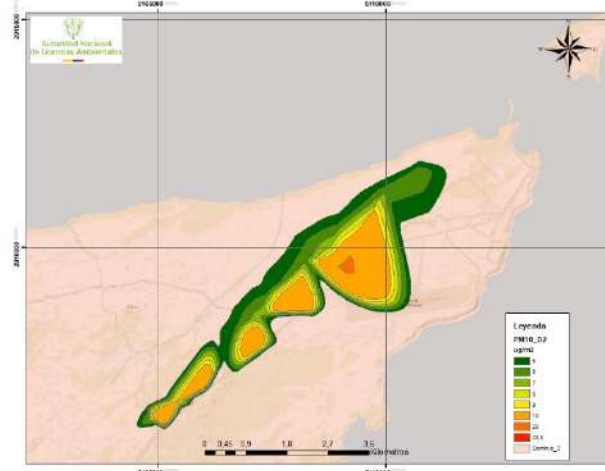
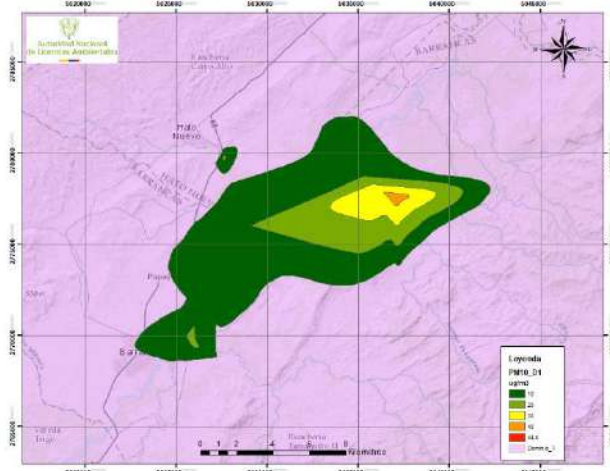
PM10

PM2.5

Zona 1

Zona 2

Zona 3



Fuente: ANLA - SIPTA, 2025



En el marco del análisis de la influencia del de cambio climático sobre el fenómeno de dispersión atmosférica se contemplaron escenarios prospectivos que permiten evaluar posibles variaciones en la dinámica de transporte y concentración de contaminantes. En particular, al comparar los escenarios evaluados, se identificó que las Zona 1 Minas y Zona 2 Puerto Bolívar presentaron las mayores concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$. Bajo el escenario SSP3-7.0, que representa un mundo regionalizado con alta desigualdad y emisiones elevadas, se observó la mayor variabilidad en la dinámica atmosférica en el periodo comprendido entre el año 2021 al año 2040.

Con base en las condiciones modeladas, se determinó que la variación de las concentraciones es inferior a $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en comparación con el escenario actual, lo que permite evidenciar que, a nivel espacial, no se observan cambios que puedan considerarse significativos entre el escenario actual y el escenario con condiciones meteorológicas asociadas al cambio climático. No obstante, considerando los resultados obtenidos en los receptores sensibles, se realizó un análisis estadístico de los niveles de inmisión para un tiempo de exposición anual, con el fin de evaluar si lo observado espacialmente se refleja en diferencias cuantificables.

Inicialmente se descartó la normalidad de los datos, por lo que se optó por aplicar el test no paramétrico de Wilcoxon pareado. La hipótesis nula (H_0) del test establece que no existen diferencias entre los escenarios base y de cambio climático, es decir, que cualquier variación es atribuible al azar.

Sin embargo, los resultados del test arrojaron un valor de p igual a 0 para ambos contaminantes (PM_{10} y $PM_{2.5}$), lo que permite rechazar la hipótesis nula y confirmar la existencia de diferencias estadísticamente significativas.

A pesar de que el análisis estadístico confirmó la existencia de diferencias significativas entre los escenarios actual y de cambio climático, dichas diferencias no se traducen en cambios relevantes desde el punto de vista ambiental. La diferencia de las medias es de $0.044 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y la de las medianas es de $0.014 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valores que resultan marginales frente a los umbrales de evaluación establecidos.

En términos de efecto, el cálculo del estadístico Cliff's Delta respalda esta interpretación. Para PM_{10} se obtuvo un valor de +0.411, lo que indica un efecto de tamaño "grande" y el signo positivo (+) indica que los valores en el escenario de "Cambio Climático" tienden a ser consistentemente más altos que en el escenario "Actual"

En conjunto, estos resultados sugieren que, aunque el modelo proyecta una diferencia sistemática entre los escenarios, esta no implica una alteración sustancial en la calidad del aire, al menos bajo los supuestos y condiciones evaluadas para los contaminantes PM_{10} y $PM_{2.5}$.



5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis de las concentraciones de material particulado $PM_{2.5}$ y de PM_{10} , así como del comportamiento meteorológico en La Guajira entre el 1 de enero de 2022 y el 31 de diciembre de 2024, permitió establecer las siguientes conclusiones:

- **Representatividad de los datos:** Los proyectos LAM1094, LAM1179 y LAM3491 reportan, en términos generales, una representatividad temporal adecuada ($\geq 75\%$) para los contaminantes PM_{10} y $PM_{2.5}$ en el periodo comprendido entre 2022 y 2024, lo cual permite la inclusión de sus datos en los análisis de tendencias interanuales. La única excepción corresponde al proyecto LAM1179 en el año 2022, en el cual las dos estaciones de monitoreo presentaron niveles de representatividad por debajo del umbral mínimo requerido.
- **Cumplimiento de los límites normativos:** El análisis de las concentraciones anuales de PM_{10} y $PM_{2.5}$ durante el periodo 2022–2024 evidencia un cumplimiento general de los valores límite establecidos en la Resolución 2254 del 1 de noviembre de 2017 ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $PM_{2.5}$). Se identificaron excedencias puntuales en PM_{10} durante el año 2022 en dos estaciones del proyecto LAM3491, actualmente clasificadas como puntos de vigilancia ocupacional, sin implicaciones directas para receptores sensibles. En los años siguientes, dichas estaciones registraron concentraciones por debajo del límite normativo, lo que sugiere una disminución en la intensidad de las actividades del proyecto.
- **Variabilidad mensual y estacional:** El análisis mensual de las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ entre 2022 y 2024 muestra una variabilidad interanual y estacional, con concentraciones más elevadas en 2022, especialmente en las estaciones del proyecto LAM3491. Sin embargo, no se identificaron excedencias recurrentes respecto a los valores máximos permisibles establecidos en la Resolución 2254 del 1 de noviembre de 2017 ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $PM_{2.5}$). En 2023 se observó una reducción general en los niveles de material particulado, mientras que en 2024 se registró un leve aumento en algunas estaciones, sin comprometer el cumplimiento normativo. Las tendencias de PM_{10} y $PM_{2.5}$ son consistentes, lo que sugiere una influencia común de factores como condiciones meteorológicas o variaciones en la actividad emisora.
- **Análisis diario y comportamiento estadístico:** El análisis estadístico diario de PM_{10} y $PM_{2.5}$ para el periodo 2022–2024 evidencia un comportamiento variable entre estaciones y años, con una tendencia general a la disminución de concentraciones entre 2022 y 2023, seguida por un leve aumento en 2024. La mayoría de las estaciones evaluadas mantienen sus medianas por debajo de los valores límite normativos diarios establecidos por la Resolución 2254 del 1 de noviembre de 2017 ($75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $PM_{2.5}$), aunque se identificaron excedencias puntuales y valores atípicos en estaciones



específicas de los proyectos LAM1094 y LAM3491, estas excedencias no se consideran sistemáticas.

- **Estaciones ocupacionales y seguimiento recomendado:** Las excedencias puntuales de PM_{10} en 2022 en estaciones ocupacionales del proyecto LAM3491 no se repitieron en años posteriores, lo que sugiere una reducción en la intensidad de las actividades. Se recomienda mantener el seguimiento y verificar la correcta clasificación de las estaciones.
- **Condiciones meteorológicas:** En cuanto a la información meteorológica, las tendencias generales del viento presentaron diferentes variables de dirección y velocidad, con una predominancia en las direcciones: Norte, Este, y el Noreste siendo ésta la de mayor presencia. Adicionalmente, las velocidades del viento registraron rangos de los 2 a 6 m/s con una mayor presencia de vientos superiores a los 4 m/s. Lo anterior, demuestra que los vientos tienden a dirigirse al Suroeste, Sur, y Oeste, en la mayoría de las estaciones analizadas, y sus velocidades pueden favorecer la Re suspensión del material particulado hacia estas zonas, esta tendencia fue similar en los dos años en análisis. No obstante, las estaciones del proyecto LAM1179, presentaron direcciones del viento con diversas procedencias, aspecto que se atribuye a su ubicación costera del municipio de Dibulla, a una distancia representativa con respecto a las demás estaciones. Adicionalmente, estas estaciones se sitúan cercanas a la Sierra Nevada, por tanto, es consecuente la variación en los resultados meteorológicos. Lo anterior permite evidenciar que, la localización geográfica influye directamente en el comportamiento del viento y, por ende, en la distribución espacial de los contaminantes atmosféricos
- **Patrones por dirección del viento y hora del día:** Los análisis de las tendencias de las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ por hora del día y según la dirección del viento, permitieron evidenciar patrones temporales y direccionales. Estaciones como MCA-LAM1094-0004 y PROVINCIAL AUT reportaron picos atípicos de concentración de PM_{10} superiores a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y de $PM_{2.5}$ mayores a $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con origen principalmente en los sectores noreste (NE) y sureste (SE), lo que sugiere influencia directa de diferentes fuentes de emisión en esas direcciones (móviles, fijas o industriales). En contraste, estaciones como JEPIRACHI AUT y MCA-LAM1179-0001 registraron concentraciones más bajas, lo que indica mejor dispersión atmosférica o menor presencia de fuentes locales. Estos resultados respaldan la importancia de integrar los análisis meteorológicos con inventarios de emisiones y modelación de dispersión para diseñar estrategias efectivas de gestión de la calidad del aire.
- **Comportamiento de estaciones cercanas y representatividad:** En general, las estaciones de calidad del aire de los proyectos registraron concentraciones que tendieron a presentar valores inferiores a los 25 y $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente para PM_{10} y $PM_{2.5}$. Por otra parte, en la estación PROVINCIAL AUT de CORPOGUAJIRA, se registraron concentraciones relativamente altas cuando la dirección proviene de los cuadrantes con las direcciones

Noreste y Sureste, lo que muestra un cierto nivel de similitud con la Estación LAM1094-004 siendo coherente, pues ambas estaciones se encuentran relativamente cerca la una a la otra. Sin embargo, la estación provincial presentó considerables ausencias de datos, lo que muestra que ambas estaciones pueden estar en una zona cercana pero la nombrada estación posee una representatividad menor; por tanto, estas estaciones presentan las concentraciones más altas en las horas de la noche y la madrugada; aun así, los valores máximos están por debajo de los ($75 \mu\text{g}/\text{m}^3$) estándar máximo establecido por la norma. Adicionalmente, para el material particulado $\text{PM}_{2.5}$, las concentraciones se distribuyen principalmente en horas de la mañana pudiendo sugerir efectos por fuentes móviles. Finalmente, se aclara que en estas estaciones se contó con información únicamente del año 2023, por tanto, no se cuenta con años de comparación.

- **Relación entre concentración y velocidad del viento:** El análisis por dirección del viento muestra que en el caso del material particulado grueso PM_{10} , las mayores concentraciones provienen cuando la velocidad del viento es alta, lo cual sugiere una influencia de fuentes lejanas desde donde el material particulado es arrastrado. Caso contrario sucede con el material particulado fino $\text{PM}_{2.5}$, donde las mayores concentraciones se asocian a una influencia cercana, pues estas persisten en registros de velocidades del viento relativamente bajas.
- **Ciclos temporales y actividad antrópica:** El estudio de los ciclos temporales de PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ durante 2024 evidencia patrones bien definidos en todas las estaciones evaluadas. A nivel horario, se identifican alzas de concentración en las primeras horas de la mañana y en la noche, coincidiendo con los periodos de mayor movilidad vehicular, mientras que en horas de la tarde las concentraciones descienden debido a la disminución del tráfico vehicular. En el análisis diario, los niveles se mantienen relativamente constantes entre los días laborables, con una reducción apreciable los fines de semana, lo que sugiere una correlación directa entre las emisiones y la actividad antrópica. Respecto a la variación mensual, las concentraciones más elevadas se registran en los meses secos de mitad de año (abril a julio); por el contrario, en los periodos de mayor precipitación las concentraciones disminuyen gracias al efecto de lavado atmosférico. Estos hallazgos confirman que la dinámica del material particulado está fuertemente condicionada por la interacción entre fuentes móviles y factores climáticos locales, lo que permite identificar momentos y periodos críticos para intensificar las medidas de manejo. En consecuencia, es importante orientar las acciones de control hacia las horas pico de movilidad vehicular y en los meses con menores precipitaciones.
- **Índices de Calidad del Aire (ICA) – PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ (2024)** El análisis del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM_{10} durante el año 2024 muestra que la mayoría de las estaciones de monitoreo mantienen condiciones calificadas como “Buenas”, con porcentajes superiores al 90 % del tiempo evaluado. Este resultado indica que, en términos generales, la exposición poblacional a partículas respirables gruesas representa un riesgo bajo para

la salud en el contexto regional. Sin embargo, se identifican dos estaciones (MCA-LAM3491-0001 y MCA-LAM3491-0002) que presentan proporciones mayores de tiempo en la categoría “Aceptable” (16.7 % y 31.1 %, respectivamente). Estas condiciones, aunque no implican riesgos graves inmediatos, representan una señal de alerta sobre posibles fuentes locales o situaciones meteorológicas particulares que influyen en estas concentraciones.

- El análisis del Índice de Calidad del Aire (ICA) para $PM_{2.5}$ en el año 2024 evidencia un escenario más crítico en comparación con PM_{10} , ya que una mayor proporción de estaciones presenta registros en categoría “Aceptable” e incluso se detectan episodios en categoría “Dañina para grupos sensibles”. En particular, estaciones como MCA-LAM1094-0007, MCA-LAM1094-0018 y MCA-LAM1094-0020 reportan fracciones de tiempo en esta última categoría, lo que señala la presencia de eventos puntuales que pueden afectar la salud de poblaciones vulnerables. Aunque algunas estaciones, como MCA-LAM1179-0001 y MCA-LAM1179-0002, conservan porcentajes elevados en la categoría “Buena” (84,4 % y 79,5 %, respectivamente), el predominio de la condición “Aceptable” en varias estaciones refleja una mayor frecuencia de concentraciones elevadas que requieren un seguimiento prioritario e intensificación de las medidas de manejo enfocadas en la disminución de las emisiones de $PM_{2.5}$.
- **Modelo de dispersión regional:** Los resultados de la modelación muestran la presencia de impactos acumulativos en la calidad del aire (especialmente PM_{10}) en áreas próximas a frentes mineros y corredores viales. No obstante, no se observan excedencias frente a los niveles de referencia normativos al contrastar con los registros en receptores sensibles y en las estaciones de la estrategia de monitoreo regional.
- La red vial y el tránsito de flota pesada y liviana asociada a las actividades mineras constituyen el factor predominante en los niveles de inmisión observados en receptores sensibles relativamente cercanos a las áreas de intervención. Sin embargo, al contrastar con los resultados de calidad de aire, se observa la posible incidencia de fenómenos externos de carácter local o global en los niveles de inmisión reportados, los cuales no necesariamente quedan reflejados en la modelación por la complejidad en la obtención de dicha información.
- La intensidad del impacto acumulativo se incrementa durante los periodos secos, con máximos espacialmente asociados a rutas no pavimentadas. Esto refuerza la importancia de un seguimiento específico a las actividades desarrolladas en estos periodos para evitar trascendencia hacia los receptores más cercanos.

- Las diferencias entre valores modelados y medidos en ciertos picos pueden explicarse por fuentes locales no inventariadas y por incertidumbres en inventarios, parámetros de superficie y/o datos meteorológicos, lo que sugiere realizar un análisis intercorrelacionado entre los resultados de la modelación y las mediciones.
- La gestión efectiva del impacto acumulativo requiere priorizar el control de fuentes difusas y de transporte (mejoras de superficie, humectación focalizada, control de velocidades, cubrimiento de cargas), con medidas de manejo diferenciadas según la ubicación de la fuente y la presencia de receptores sensibles. Esta priorización debe sustentarse en los resultados de modelación, actualizados periódicamente para el caso de los complejos mineros, y en los resultados de la caracterización permanente que se realiza en la región.

Recomendaciones:

Como solicitud de la coordinación para las recomendaciones que se generan para expedientes específicos no se incluyen en conclusiones, para esto se usara la siguiente tabla en donde se identifica el expediente, la situación evidenciada y la recomendación, esto es con el fin de sistematizar estas recomendaciones que finalmente tendrían que trasladarse a los procesos de evaluación y seguimiento de la entidad.

Expediente	Situación evidenciada	Recomendación
LAM2619	El proyecto identificado con el expediente LAM2619, al cual se le impuso la EM mediante el artículo primero de la Resolución 1050 del 19 de mayo de 2023, no ha realizado el reporte correspondiente, lo cual representa un incumplimiento de dicha obligación.	Se recomienda realizar la reiteración del requerimiento al titular del proyecto LAM2619 en el marco de las actividades de seguimiento, con el fin de exigir el cumplimiento del reporte de la información de monitoreo al CMRN, conforme a lo establecido en la Resolución 1050 de 2023.
LAM1094, LAM1179,	Los proyectos LAM1094, LAM3491, LAM1179 y LAM2619, vinculados a la Estrategia de Monitoreo de Calidad del Aire, no presentan de manera estandarizada y clara un procedimiento de validación de datos que permita identificar el estado de cada registro (válido o inválido), conforme a lo establecido en el numeral 7.1.10.17 del Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la	Solicitar formalmente a los responsables de los proyectos la presentación del procedimiento de validación de datos, especificando los controles y banderas aplicadas para la clasificación de los registros, así como la identificación explícita de los datos inválidos, con el fin de asegurar la calidad y confiabilidad de la información generada por las estaciones.



Expediente	Situación evidenciada	Recomendación
	Calidad del Aire – Manual de Operación de 2010. Esta omisión limita la verificación del adecuado funcionamiento de las estaciones de monitoreo y la representatividad de los datos reportados.	
LAM1179 LAM2619	El proyecto identificado con el expediente LAM1179 y el proyecto expediente LAM2619, dentro de su informe de cumplimiento ambiental del año 2024, se evidenció que los insumos de modelación nativos de Aermod no se adjuntaron de forma completa y que el inventario de emisiones fue presentado con inconsistencias dificulta la consolidación del modelo regional.	Dentro de la etapa de seguimiento del Informe de Cumplimiento Ambiental realizar una revisión rigurosa a los insumos de modelación y en caso de ser necesario se recomienda realizar un requerimiento formal al titular de cada proyecto que presente estas limitaciones asociado a su PMA y/o PSM con el fin de exigir el cumplimiento de esta información.

6. BIBLIOGRAFIA

ANLA, 2022. Actualización del Reporte de Alertas de Análisis Regional de la Zona Hidrográfica Caribe -Guajira. Disponible en: <https://www.anla.gov.co/images/documentos/reportes-alertas/10-010-2022-anla-actualizacion-reporte-de-guajira-1.pdf>

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL (MAVDT). 2010. Resolución 650 de 29 de marzo de 2010. Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/resolucion-650-de-2010.pdf>

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL (MAVDT). 2010. Resolución 651 de 29 de marzo de 2010. Creación del Subsistema de Información sobre Calidad del Aire – SISAIRE. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/resolucion-651-de-2010.pdf>

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL (MAVDT). 2010. Resolución 2154 de 02 de noviembre de 2010. Ajuste del Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/resolucion-2154-de-2010.pdf>





MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE (MADS). 2015. Decreto 1076 de 26 de mayo de 2015. Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Decreto-1076-de-2015.pdf>

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/>

R Core Team (2024). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>

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





ANEXOS

Representación gráfica del Índice de Calidad del Aire para cada estación de monitoreo del año 2024

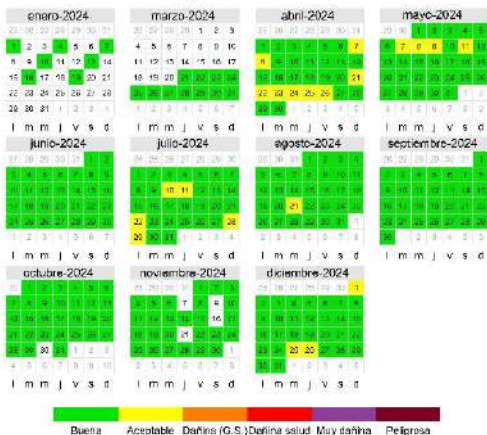
Expediente LAM1094

Figura 28. Índices de calidad del aire de 2024 ICA PM₁₀ – LAM1094

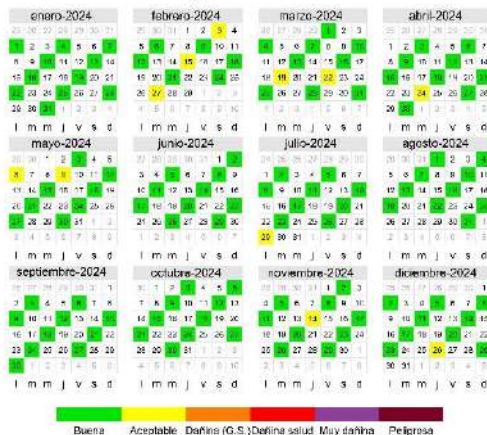




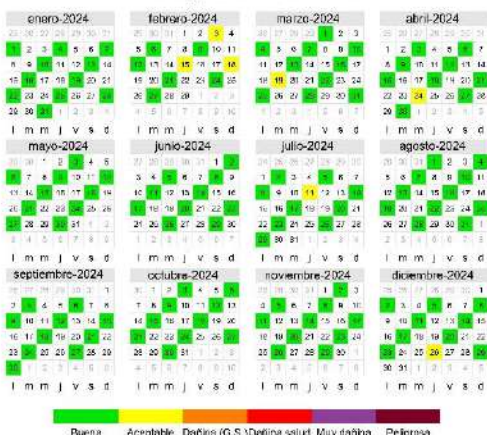
LAM1094 PM₁₀ MCA-LAM1094-0007 2024



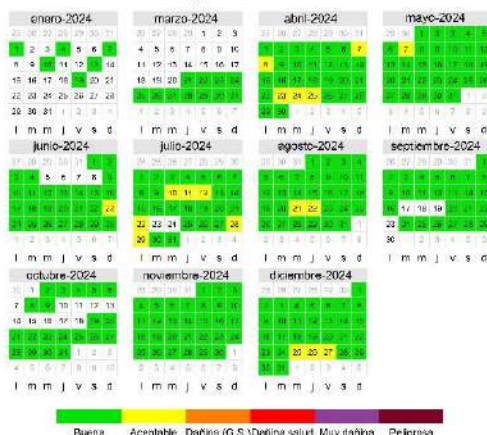
LAM1094 PM₁₀ MCA-LAM1094-0008 2024



LAM1094 PM₁₀ MCA-LAM1094-0009 2024



LAM1094 PM₁₀ MCA-LAM1094-0011 2024





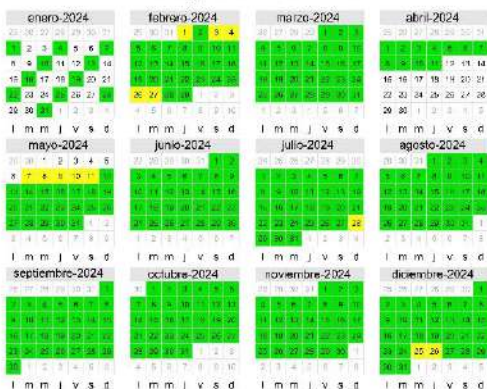
LAM1094 PM₁₀ MCA-LAM1094-0012 2024



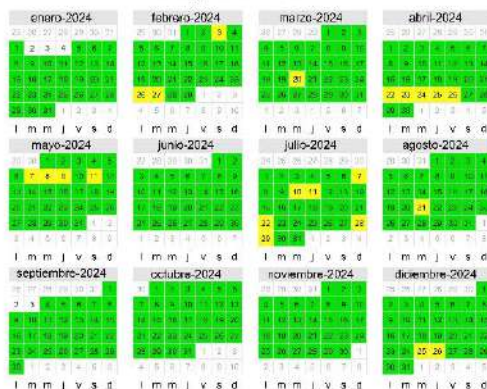
LAM1094 PM₁₀ MCA-LAM1094-0013 2024



LAM1094 PM₁₀ MCA-LAM1094-0014 2024



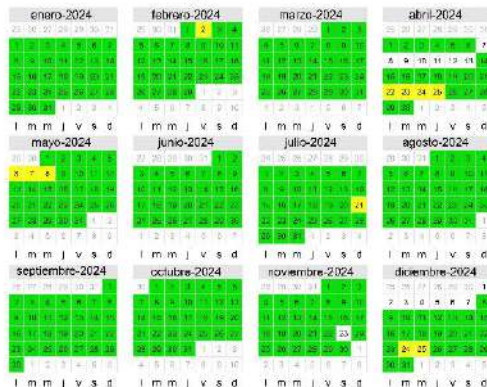
LAM1094 PM₁₀ MCA-LAM1094-0015 2024



LAM1094 PM₁₀ MCA-LAM1094-0016 2024



LAM1094 PM₁₀ MCA-LAM1094-0017 2024

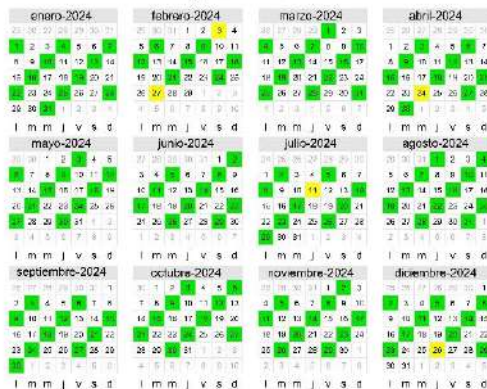




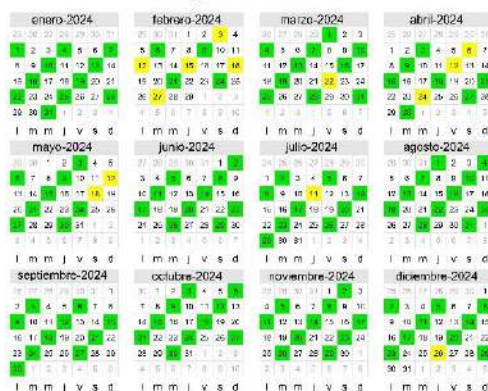
LAM1094 PM₁₀ MCA-LAM1094-0018 2024



LAM1094 PM₁₀ MCA-LAM1094-0019 2024



LAM1094 PM₁₀ MCA-LAM1094-0020 2024



Fuente: ANLA – SIPTA, 2025 a partir de los datos radicados por el expediente LAM1094

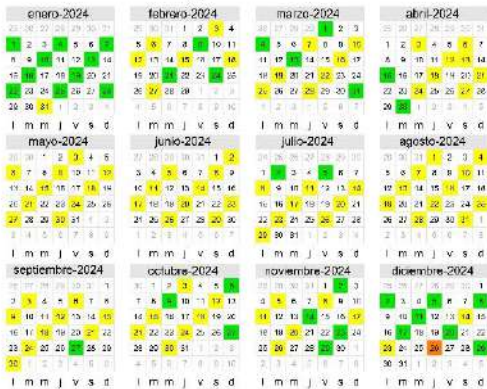


Figura 29. Índices de calidad del aire de 2024 ICA PM_{2.5} – LAM1094

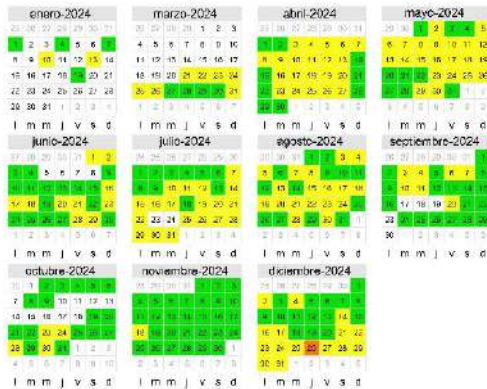




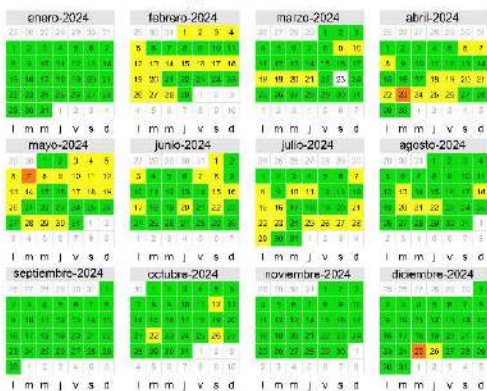
LAM1094 PM_{2.5} MCA-LAM1094-0009 2024



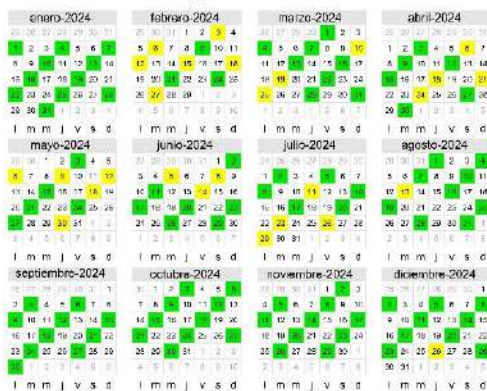
LAM1094 PM_{2.5} MCA-LAM1094-0011 2024



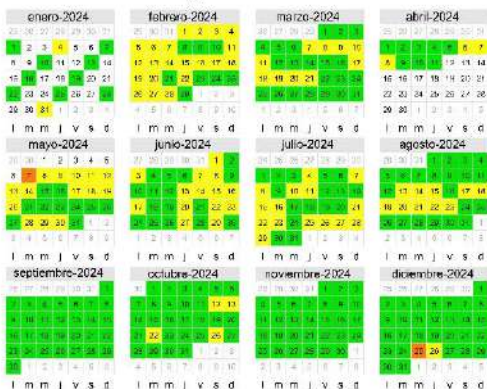
LAM1094 PM_{2.5} MCA-LAM1094-0012 2024



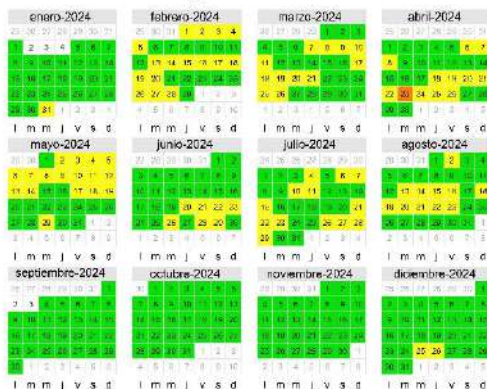
LAM1094 PM_{2.5} MCA-LAM1094-0013 2024



LAM1094 PM_{2.5} MCA-LAM1094-0014 2024



LAM1094 PM_{2.5} MCA-LAM1094-0015 2024

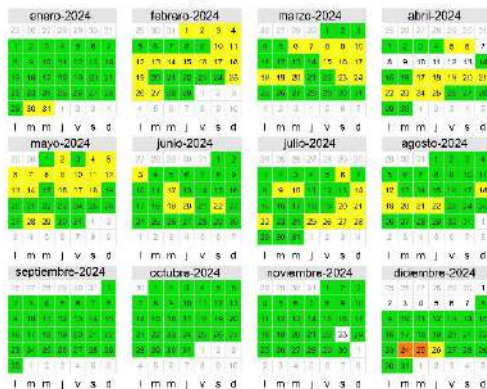




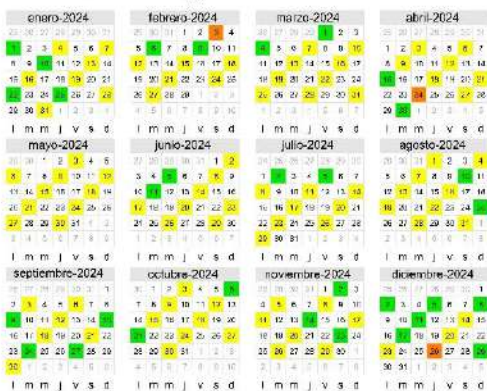
LAM1094 PM_{2.5} MCA-LAM1094-0016 2024



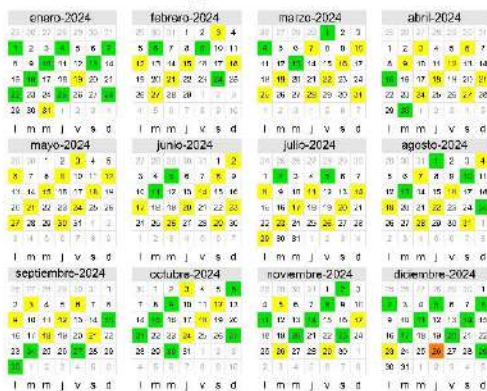
LAM1094 PM_{2.5} MCA-LAM1094-0017 2024



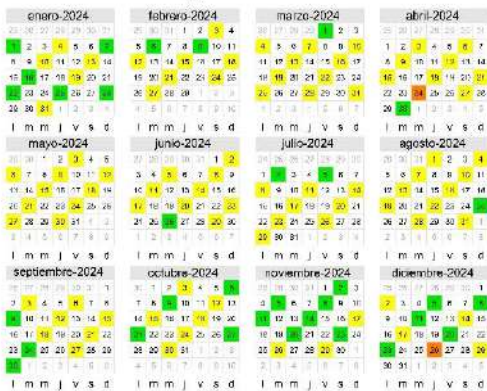
LAM1094 PM_{2.5} MCA-LAM1094-0018 2024



LAM1094 PM_{2.5} MCA-LAM1094-0019 2024



LAM1094 PM_{2.5} MCA-LAM1094-0020 2024

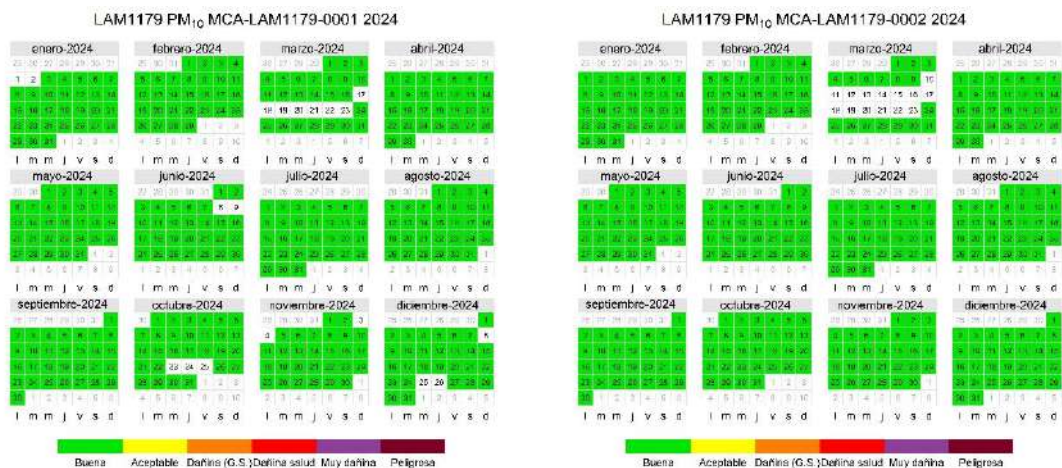


Fuente: ANLA – SIPTA, 2025 a partir de los datos radicados por el expediente LAM1094



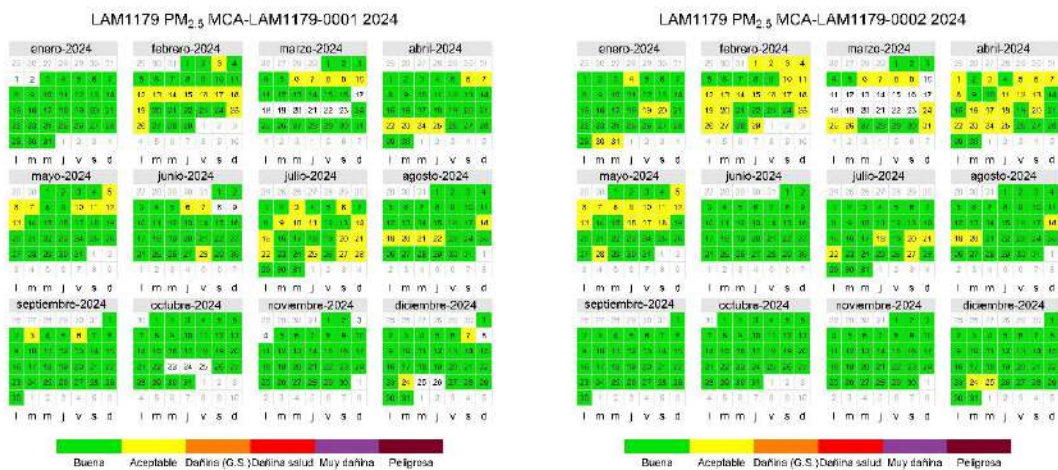
Expediente LAM1179

Figura 30. Índices de calidad del aire de 2024 ICA PM_{2.5} – LAM1179



Fuente: ANLA – SIPTA, 2025 a partir de los datos radicados por el expediente LAM1179

Figura 31. Índices de calidad del aire de 2024 ICA PM₁₀ – LAM1179

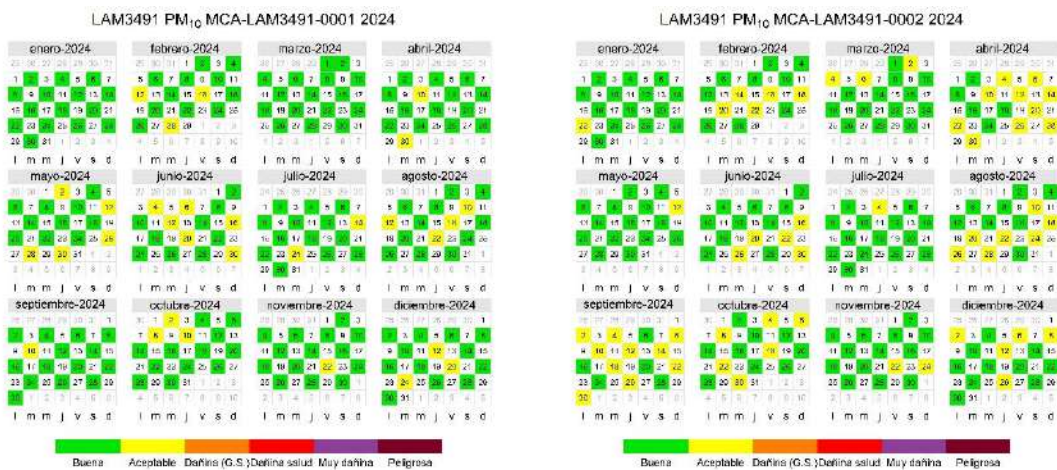


Fuente: ANLA – SIPTA, 2025 a partir de los datos radicados por el expediente LAM1179



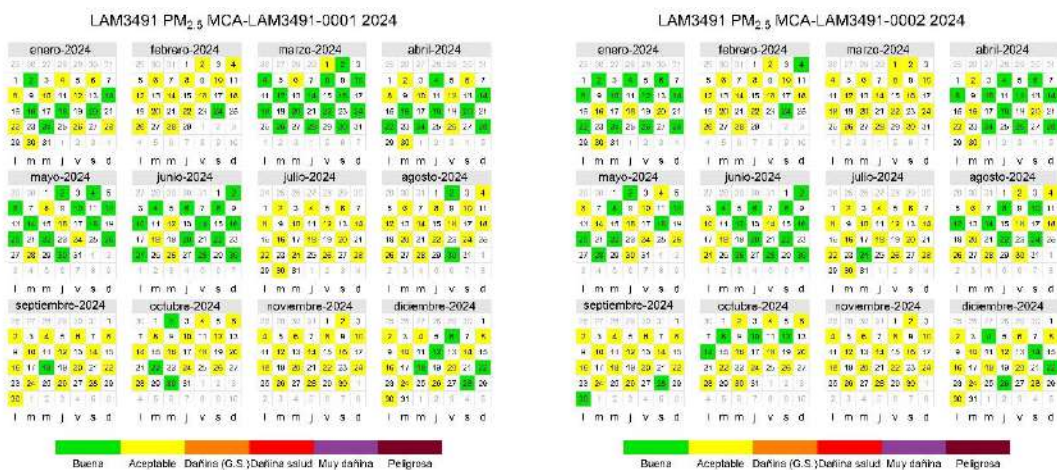
Expediente LAM3491

Figura 32. Índices de calidad del aire de 2024 ICA PM₁₀ – LAM3491



Fuente: ANLA – SIPTA, 2025 a partir de los datos radicados por el expediente LAM3491

Figura 33. Índices de calidad del aire de 2024 ICA PM_{2.5} – LAM3491

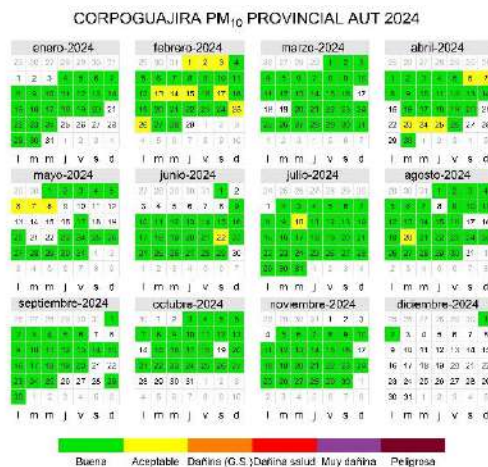


Fuente: ANLA – SIPTA, 2025 a partir de los datos radicados por el expediente LAM3491



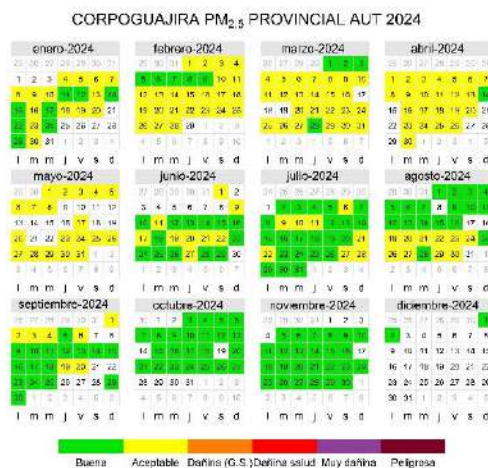
CORPOGUAJIRA

Figura 34. Índices de calidad del aire de 2024 ICA PM₁₀ – CORPOGUAJIRA



Fuente: ANLA – SIPTA, 2025 a partir de los datos registrados en SISAIRE por CORPOGUAJIRA

Figura 35. Índices de calidad del aire de 2024 ICA PM_{2.5} – CORPOGUAJIRA



Fuente: ANLA – SIPTA, 2025 a partir de los datos registrados en SISAIRE por CORPOGUAJIRA

