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 EL ÁREA DE LA ESTRATEGIA DE LA ZONA MINERA DEL CENTRO DEL CESAR (2018 – 2023)

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

JULIO
2024

Rodrigo Elías Negrete Montes
Director General

Luis Enrique Orduz Valencia
Subdirector Instrumentos Permisos y Trámites Ambientales

Camilo Andrés Bernal Forero
Coordinador
Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo

Jairo Alberto Ruíz López
Líder
Implementación Regional

Jorge Alberto Sanabria Morales
Líder
Centro de Monitoreo de los Recursos Naturales

Neidy Mildred Daza Lesmes
Juan Pablo Ayala Robayo
Jorge Esneider Leguizamón
Javier Beltrán Maldonado
Jaime Andrés Fajardo Rodríguez
Profesionales
Componente Atmosférico

CONTENIDO

ANÁLISIS DE DATOS DE LA ESTRATEGIA DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE EN LA ZONA MINERA DEL CENTRO DEL CESAR 4

1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MONITOREO 6

2. ANÁLISIS DEL ESTADO DE LA CALIDAD DEL AIRE 8

2.1. SISTEMA DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE FIJO (SVCAI) 8

2.1.1. Análisis históricos de material particulado (anual, mensual y diario) 9

2.1.2. Comportamiento de la velocidad y de la dirección del viento 18

2.1.3. Análisis conjunto de concentraciones de material particulado con el comportamiento del viento 19

2.1.4. Análisis de ciclos temporales 22

2.1.5. Análisis del Índice de Calidad del Aire – ICA 24

2.1.5.1. Expediente: LAM0027 24

2.1.5.2. Expediente: LAM2622 26

2.1.5.3. Expediente: LAM3271 27

2.1.5.4. SEVCA ZMC - CORPOCESAR 30

2.2. MODELACIÓN DE DISPERSION DE MATERIAL PARTICULADO PM_{10} – $PM_{2.5}$ 34

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 1

4. ANEXO: ÍNDICES DE CALIDAD DEL AIRE 4

5. BIBLIOGRAFIA 21

TABLAS

Tabla 1. Proyectos que reportan bajo la estrategia de monitoreo atmosférica (calidad del aire) 4

Tabla 2. Proyectos que reportan bajo la estrategia de monitoreo atmosférica (calidad del aire) 4

Tabla 3. Proyectos en la ZMCC con obligaciones asociadas a la estrategia de monitoreo atmosférica (calidad del aire) de la ANLA 6

Tabla 4. Cantidad de registros diarios de calidad del aire para la Zona Minera del Centro del Cesar (ZMCC) 8

Tabla 5. Descripción general del Índice de Calidad del Aire 24

Tabla 6. Proyectos incluidos en modelación de La Guajira 34

Tabla 7. Concentraciones anuales sobre receptores discretos PM_{10} 35

Tabla 8. Concentraciones anuales sobre receptores discretos $PM_{2.5}$ 35

FIGURAS

Figura 1. Localización de proyectos y estaciones con estrategia de monitoreo del área de análisis (ZMCC) y del SEVCA ZMC de CORPOCESAR. 5
Figura 2. Registro histórico de captura de datos para el parámetro PM_{10} 10
Figura 3. Comportamiento histórico de promedios anuales de PM_{10}..... 11
Figura 4. Comportamiento histórico de promedios anuales de $PM_{2.5}$ 11
Figura 5. Comportamiento histórico de promedios mensuales de PM_{10} 12
Figura 6. Comportamiento histórico de promedios mensuales de $PM_{2.5}$ 13
Figura 7. Diagramas de caja con la distribución de los promedios diarios de PM_{10} 14
Figura 8. Tendencia temporal de las concentraciones diarias de PM_{10} 15
Figura 9. Distribución de promedios diarios de $PM_{2.5}$ 16
Figura 10. Tendencia temporal de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$..... 17
Figura 11. Rosas de viento para las estaciones de calidad del aire en 2023 18
Figura 12. Gráficos polares anulares para las estaciones de calidad del aire (PM_{10}) en 2023. 19
Figura 13. Gráficos polares anulares para las estaciones de calidad del aire ($PM_{2.5}$) en 2023 20
Figura 14. Gráficos polares para las estaciones de calidad del aire (PM_{10}) en 2023..... 21
Figura 15. Gráficos polares para las estaciones de calidad del aire ($PM_{2.5}$) en 2023 22
Figura 16. Tendencias temporales de las estaciones de calidad del aire en 2023. 24
Figura 17. Índices de calidad del aire de 2023 ICA PM_{10} – LAM0027 25
Figura 18. Índices de calidad del aire de 2023 ICA $PM_{2.5}$ – LAM0027..... 26
Figura 19. Índices de calidad del aire de 2023 ICA PM_{10} – LAM2622 27
Figura 20. Índices de calidad del aire de 2023 ICA $PM_{2.5}$ – LAM2622..... 27
Figura 21. Índices de calidad del aire de 2023 ICA PM_{10} – LAM3271 28
Figura 22. Índices de calidad del aire de 2023 ICA $PM_{2.5}$ – LAM3271..... 29
Figura 23. Índices de calidad del aire de 2023 ICA PM_{10} – SEVCA ZMC CORPOCESAR 32
Figura 24. Índices de calidad del aire de 2023 ICA $PM_{2.5}$ – SEVCA ZMC CORPOCESAR..... 34
Figura 25. Isopleta de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en tiempo de exposición anual para la ZMCC (año 2022)... 0
Figura 26. Índices de calidad del aire de 2019 ICA PM_{10} – SEVCA ZMC CORPOCESAR 6
Figura 27. Índices de calidad del aire de 2020 ICA PM_{10} – SEVCA ZMC CORPOCESAR 8
Figura 28. Índices de calidad del aire de 2021 ICA PM_{10} – SEVCA ZMC CORPOCESAR 11
Figura 29. Índices de calidad del aire de 2022 ICA PM_{10} – SEVCA ZMC CORPOCESAR 13
Figura 30. Índices de calidad del aire de 2019 ICA $PM_{2.5}$ – SEVCA ZMC CORPOCESAR..... 15
Figura 31. Índices de calidad del aire de 2020 ICA $PM_{2.5}$ – SEVCA ZMC CORPOCESAR..... 17
Figura 32. Índices de calidad del aire de 2021 ICA $PM_{2.5}$ – SEVCA ZMC CORPOCESAR..... 19
Figura 33. Índices de calidad del aire de 2022 ICA $PM_{2.5}$ – SEVCA ZMC CORPOCESAR..... 21

ANÁLISIS DE DATOS DE LA ESTRATEGIA DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE EN LA ZONA MINERA DEL CENTRO DEL CESAR

Este documento presenta el análisis de las concentraciones del periodo 2018 a 2023, de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$, para evaluar el estado de la calidad del aire asociado a los proyectos que se encuentran reportando a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), bajo la **estrategia de monitoreo del componente atmosférico**. Adicionalmente, se valoran los resultados de los registros de estaciones de monitoreo de calidad del aire asociadas al Sistema de Vigilancia Especial de la Corporación Autónoma Regional del Cesar - CORPOCESAR (SEVCA-ZMC).

Los datos históricos de la calidad del aire concerniente a la Estrategia de Monitoreo Atmosférica de la Zona Minera del Centro del Cesar, considerados en este análisis se enmarcaron en el periodo comprendido del 1 de enero al 31 de diciembre del 2023 y se obtuvieron de la información radicada por los proyectos de tres Sociedades (Tabla 1). De manera adicional, se revisó, procesó y analizó la información contenida en el Subsistema de Información sobre Calidad del Aire – SISAIRE del IDEAM para el periodo de análisis desde 2019 hasta 2023. Conforme a lo anterior en la Tabla 2, se relacionan las coordenadas de las estaciones con reporte de resultados de concentraciones de material particulado que hicieron parte del análisis; y en la Figura 1, se puede evidenciar la distribución espacial.

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

EXPEDIENTE	MINA
LAM0027	La Loma Pribbenow
LAM2622	Calenturitas
LAM3271	Descanso Norte

Fuente: ANLA SIPTA, 2024.

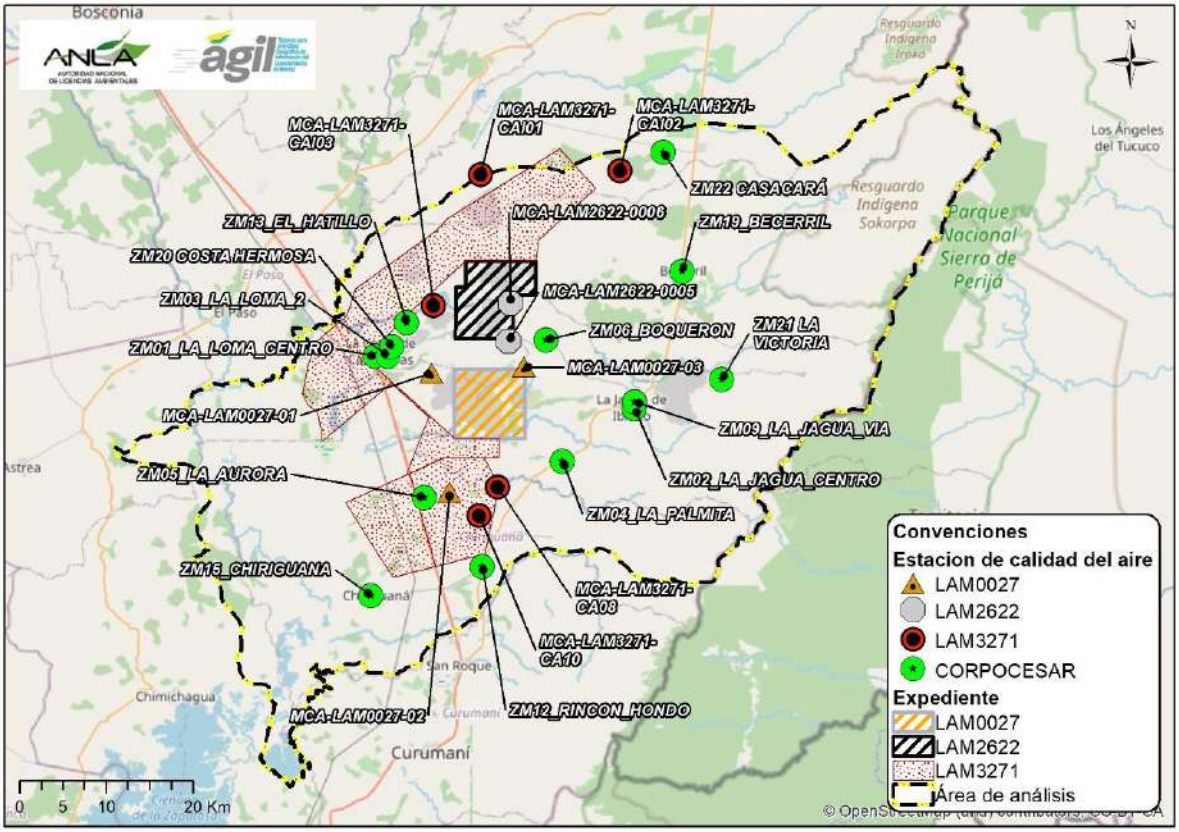
Conforme a lo anterior, a continuación, se precisan las estaciones de monitoreo con resultados analizados, con sus respectivas coordenadas

Tabla 2. Proyectos que reportan bajo la estrategia de monitoreo atmosférica (calidad del aire)

SVCA	NOMBRE ESTACIÓN	COORDENADAS ORIGEN ÚNICO NACIONAL	
		ESTE	NORTE
LAM3271	MCA-LAM3271- CAI01	4946040.6	2641406.7
	MCA-LAM3271- CAI02	4962136.2	2641835.2
	MCA-LAM3271- CAI03	4940587.1	2626258.1
	MCA-LAM3271- CA08	4948000.2	2605275.9
	MCA-LAM3271- CA10	4945892.5	2602000.1
LAM0027	MCA-LAM0027-01	4940388.8	2618445.2
	MCA-LAM0027-02	4942463.9	2604672.5
	MCA-LAM0027-03	4951050.9	2619166.6
LAM2622	MCA-LAM2622-0005	4949266.2	2622103.7
	MCA-LAM2622-0006	4949515.1	2626510.3

SVCA	NOMBRE ESTACIÓN	COORDENADAS ORIGEN ÚNICO NACIONAL	
		ESTE	NORTE
CORPOCESAR	ZM01 LA LOMA CENTRO	4949459.0	2620393.6
	ZM02 LA JAGUA CENTRO	4963836.7	2614344.5
	ZM03 LA LOMA 2	4935272.3	2620545.8
	ZM04 LA PALMITA	4955523.0	2608244.1
	ZM05 LA AURORA	4939564.7	2604090.9
	ZM06 BOQUERON	4953614.0	2622285.5
	ZM09 LA JAGUA VÍA	4963511.3	2615020.2
CORPOCESAR	ZM12 RINCÓN HONDO	4946515.9	2596531.4
	ZM13 EL HATILLO	4937483.5	2624251.6
	ZM15 CHIRIGUANA	4933363.4	2592738.9
	ZM19 BECERRIL	4969380.4	2630115.8
	ZM20 COSTA HERMOSA	4935686.5	2621483.1
	ZM21 LA VICTORIA	4973934.2	2617750.1
	ZM22 CASACARÁ	4967187.6	2644442.6

Fuente: ANLA SIPTA, 2024.



Fuente: ANLA SIPTA, 2024.

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

1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MONITOREO

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

Para el componente atmosférico, se encuentran implementadas cuatro (4) estrategias de monitoreo, denominadas: La Guajira, Corredor Portuario, Alto San Jorge y Zona Minera del Centro del Cesar, las cuales cobijan un total de 18 proyectos con obligaciones asociadas al monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. Adicionalmente y de manera específica para la zona objeto de análisis del presente informe, se cuentan con otro tipo de herramientas que brindan información del estado de la calidad del aire, entre ellas: history maps[1] y reportes de análisis regional[2].

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

Tabla 3. Proyectos en la ZMCC con obligaciones asociadas a la estrategia de monitoreo atmosférica (calidad del aire) de la ANLA

EXPEDIENTE	EMPRESA	MINA	MUNICIPIO
LAM0027	Drummond Ltda.	La Loma Pribbenow	El Paso, Chiriguaná y La Jagua de Ibirico.
LAM1203	Carbones de la Jagua CDJ Consorcio minero Unido CMJ Carbones el Tesoro CET	La Jagua	La Jagua de Ibirico y Becerril.
LAM2622	C.I. Prodeco S.A.	Calenturitas	El Paso, Becerril y La Jagua de Ibirico.
LAM3199	C.L. Colombian Natural Resources I S.A.S.	La Francia	Becerril y El Paso.
LAM3271	Drummond Ltda.	Descanso Norte	Becerril y Agustín Codazzi
LAM3831	Norcarbon S.A.	Cerrolargo	La Jagua de Ibirico
LAM1862	COLOMBIAN NATURAL RESOURCES CNR III LTD. Sucursal Colombia.	El Hatillo	El Paso (Corregimiento De La Loma), Chiriguaná y La Jagua de Ibirico.

Fuente: Documento Estrategia Regional para Seguimiento al Componente Atmosférico de la Zona Minera del Cesar (2018). ANLA, 2024.

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

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

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

1.1. Condiciones de modo

Frecuencia: monitoreo permanente con frecuencia de muestreo máximo horaria para muestreadores automáticos y cada tercer día en el caso de muestreadores manuales. Como mínimo deben reportarse registros de 24 horas, medidos desde medianoche hasta la medianoche conforme a lo establecido en el Manual del Diseño del Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad de Aire, adoptado mediante Resolución 650 de 2010[3] y ajustado por la Resolución 2154 de 2010[4], o aquella que modifique o sustituya.

Contaminantes y parámetros: medición de parámetros meteorológicos, entre ellos: temperatura, presión, humedad relativa, radiación solar global, precipitación, velocidad y dirección del viento. Adicionalmente, se deberán registrar los contaminantes de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$.

Metodología: registro de las muestras y el análisis deben ser realizadas por empresas o laboratorios acreditados por el IDEAM[5].

1.2. Condiciones de tiempo

Los resultados de las mediciones de los contaminantes y variables meteorológicas deben ingresar como reporte de monitoreo regional de manera semanal para el caso de estaciones automáticas y mensualmente para el caso de estaciones manuales. Adicionalmente, sin perjuicio de lo anterior y en línea con lo establecido en el Artículo 25 de la Resolución 2254 de 2017[6], la información del estado de la calidad del aire deberá migrarse también al Subsistema de Información sobre la Calidad del Aire (SISAIRE), conforme a los tiempos de reporte establecidos en el Artículo Quinto de la Resolución 651 de 2010[7].

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

---

[3] Resolución 650 de 2010: "Por la cual se adopta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire".
[4] Resolución 2154 de 2010: "Por la cual se ajusta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire adoptado a través de la Resolución 650 de 2010 y se adoptan otras disposiciones"
[5] Según lo establecido en el artículo 2.2.8.9.1.5 del Decreto 1076 de 2015, *"Por la cual se resuelve crear el subsistema de información sobre calidad del aire - SISAIRE como fuente principal de información para el diseño, evaluación y ajuste de las políticas y estrategias nacionales de prevención y control de la contaminación del aire"*.
[6] Resolución 2254 de 2017: *"Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones"*
[7] Resolución 651 de 2010: "Por la cual se crea el Subsistema de Información sobre Calidad del Aire - SISAIRE".

2. ANÁLISIS DEL ESTADO DE LA CALIDAD DEL AIRE

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

De acuerdo con la descripción de las estaciones de monitoreo de calidad del aire ubicadas en la zona de la estrategia, presentadas en la Tabla 2 y Figura 1, a continuación, se analizan los resultados de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$, junto con las variables meteorológicas cuyos datos se asocian a estas mediciones.

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

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

AÑOS	EXPEDIENTE/ CORPORACIÓN	PM_{10}		$PM_{2.5}$	
		# ESTACIONES QUE MONITOREARON	RANGO DE REPRESENTATIVIDAD (%)	# ESTACIONES QUE MONITOREARON	RANGO DE REPRESENTATIVIDAD (%)
2007-2023	CORPOCESAR	20	2 – 100	15	4 – 100
2023	LAM0027	3	92	3	92
2022-2023	LAM1862	2	84 – 98	2	84 – 98
2023	LAM2622	2	90	2	87 – 98
2022-2023	LAM3199	2	100	2	100
2023	LAM3271	6	90 – 96	6	90 – 96

Fuente: ANLA - SIPTA, 2024, a partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales y la información descargada del Subsistema de Información sobre Calidad del Aire – SISAIRE - Medidos por CORPOCESAR, 2024.

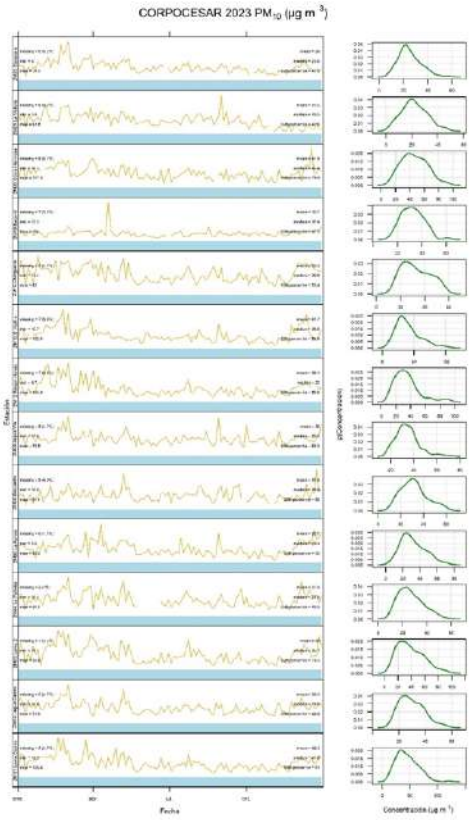
La información anterior, muestra la representación temporal de los datos de los muestreos para material particulado, la cual ha sido variable y el análisis de cumplimiento se da para aquellas estaciones que superan el 75% de representatividad conforme a lo establecido en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire (MAVDT, 2010 hoy MADS), para los años analizados.

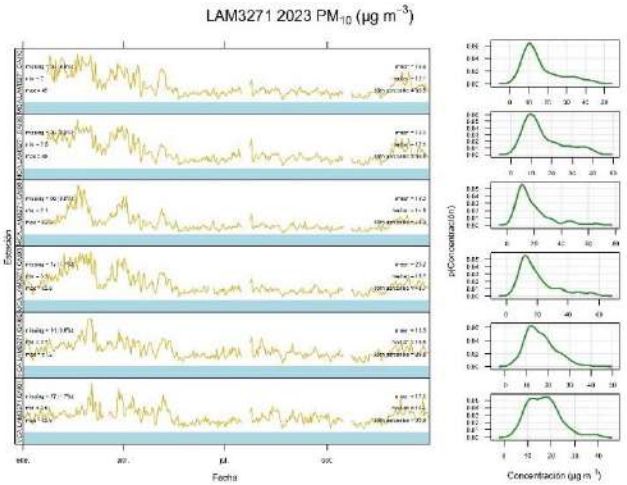
Según los datos procesados, se determina que la representatividad temporal de los proyectos a cargo de la ANLA presenta resultados superiores a 80% para los años 2022 y 2023, por tanto, cumplen la exigencia normativa. Sin embargo, en el Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire de CORPOCESAR se registran representatividades anuales que oscilan entre 2% y el 100% en un periodo de análisis que cubre desde los años 2007 al 2023, en 15 o 20 estaciones de monitoreo dependiendo el parámetro. Conforme a esto, se evidencia que algunas estaciones no logran el porcentaje de validez de captura de información. Lo anterior,

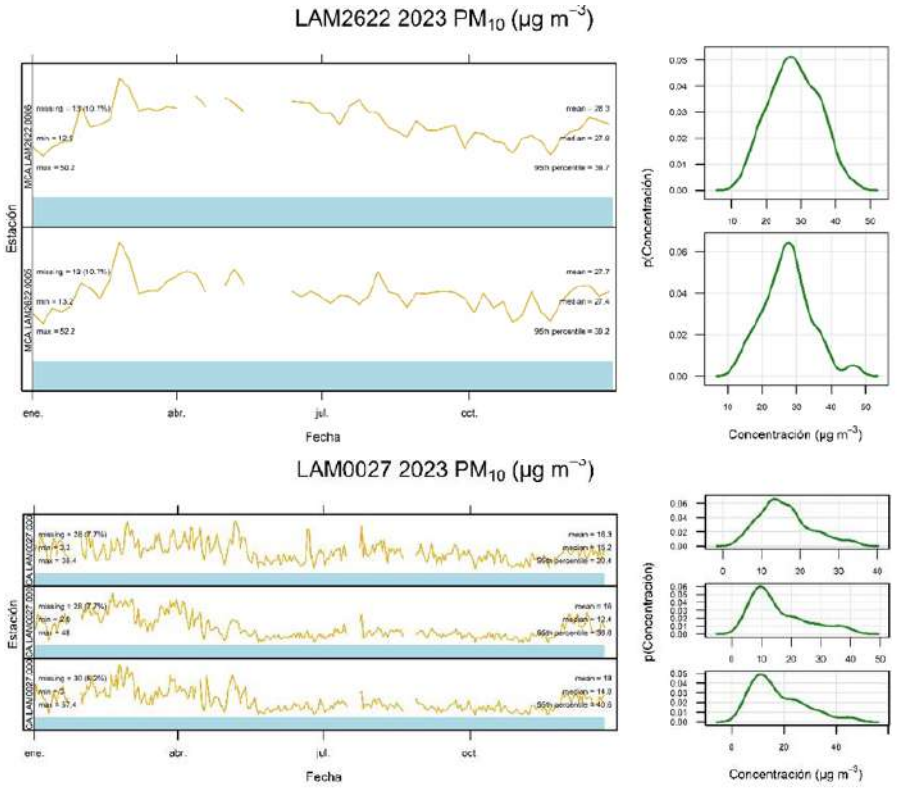
asociado al tiempo de arranque del monitoreo o posibles salidas de funcionamiento de los equipos. Aun así, la mayoría de las estaciones cumple con el criterio de representatividad, lo que permite hacer los respectivos análisis de resultados.

2.1.1. Análisis históricos de material particulado (anual, mensual y diario)

En la Figura 2, se muestra la recopilación de los datos de los diferentes sistemas de vigilancia de la calidad del aire de CORPOCESAR y de los proyectos a cargo de la ANLA. Esta información se registra de forma permanente en la mayoría de las estaciones de monitoreo que capturan información de forma horaria, diaria o cada tercer día. Sin embargo, algunas estaciones presentan interrupciones temporales, especialmente asociadas a salida de operación de algún equipo. Esto también sucede en proyectos de la ANLA, especialmente el expediente LAM2622, que presenta algunos periodos faltos de información, sin que esto afecte los criterios de representatividad puesto que reportan valores superiores al 75%.







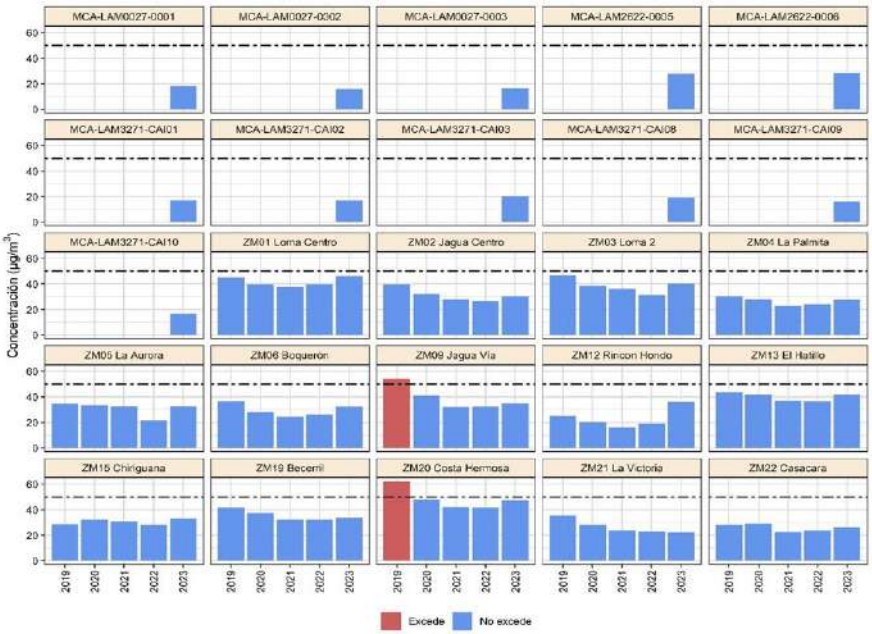
Fuente: ANLA - SIPTA, a partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales y la información descargada del Subsistema de Información sobre Calidad del Aire – SISAIRE - Medidos por CORPOCESAR, 2024

Figura 2. Registro histórico de captura de datos para el parámetro PM_{10}

Adicionalmente, se observa que todas las estaciones presentan una distribución normal de los datos, puesto que presentan una mayor cantidad de datos en los valores de 10 a 30 µg/m^3 y pocos datos inferiores a los 5 µg/m^3 o superando los 30 o 40 µg/m^3. Igualmente, se presenta un incremento de las concentraciones en temporada seca que abarca los meses de diciembre a abril o mayo y el resto de los meses registran reducción de las concentraciones. Finalmente, se evidencia que el parámetro $PM_{2.5}$ registra un comportamiento similar en cuanto a su tendencia. A continuación, se presenta el comportamiento histórico de los promedios anuales de PM_{10} y $PM_{2.5}$, representando con una línea punteada los límites permisibles de estos parámetros, según la Resolución 2254 de 2017, y resaltando en color rojo el año que alcanzaron dichos estándares normativos.

Considerando los resultados plasmados en la siguiente figura, se observa que, para la mayoría de las estaciones se da cumplimiento al nivel máximo permisible anual de PM_{10} establecido en la Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, correspondiente a 50 µg/m^3, exceptuando las estaciones ZM09 Jagua Vía y ZM20 Costa Hermosa que superaron dicho límite normativo en el año 2019. Se evidencia adicionalmente, que las estaciones de los proyectos que reportan a la ANLA presentan datos para el año 2023 y promedios anuales inferiores a los resultados registrados en las estaciones de CORPOCESAR, las cuales ostentan cumplimiento normativo con tendencia

decreciente hasta el año 2021. Sin embargo, varias de las estaciones del SVCA de la Corporación están cambiando su tendencia y mostrando incrementos especialmente en el año 2023, esta situación se aprecia en las estaciones: ZM03 Loma 2, ZM12 Rincón Hondo y ZM20 Costa Hermosa.



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 - Medidos por CORPOCESAR, 2024

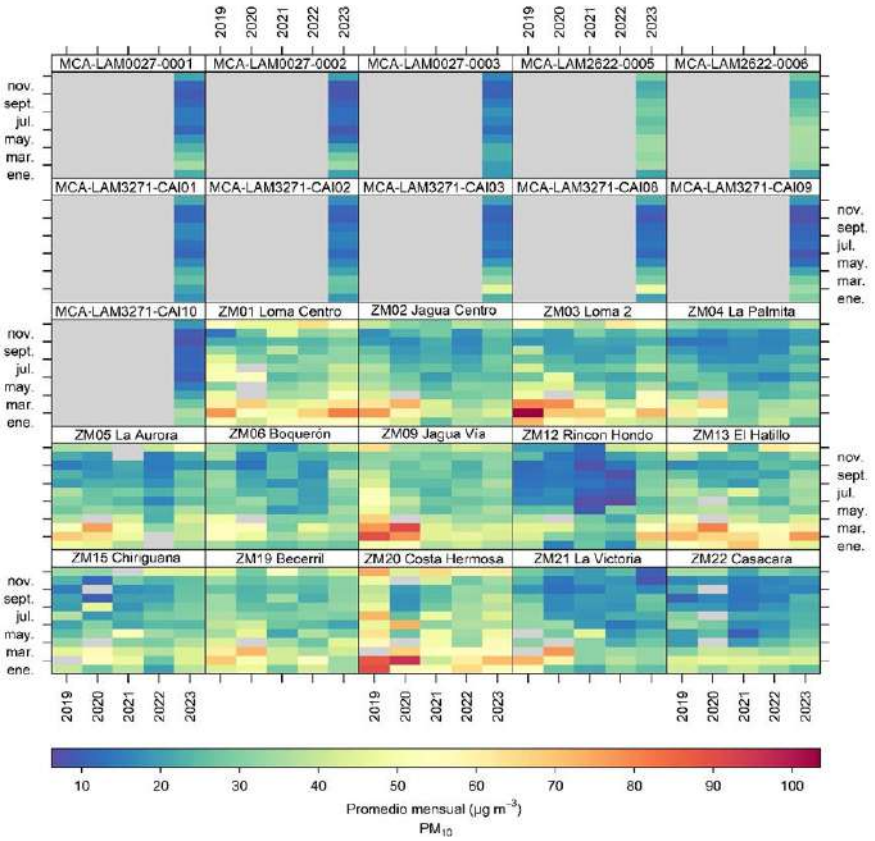
Figura 3. Comportamiento histórico de promedios anuales de PM_{10}

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 - Medidos por CORPOCESAR, 2024

Figura 4. Comportamiento histórico de promedios anuales de $PM_{2.5}$

Respecto al material particulado $PM_{2.5}$ (Figura 4), solo las estaciones ZM01 Loma Centro y ZM21 La Victoria presentaron excedencias del nivel máximo permisible anual de 25 µg/m^3, en los años 2023 y 2020 respectivamente. Igualmente, se destaca que los promedios anuales más altos se presentaron en el SVCA de CORPOCESAR; lo cual es concordante con los resultados obtenidos para PM_{10}, analizados previamente. De otra parte, las estaciones de los proyectos que reportan a la ANLA presentan datos para el año 2023, muestran cumplimiento normativo con tendencia decreciente hasta el año 2021. Sin embargo, varias de las estaciones del SVCA de la Corporación están cambiando su tendencia y mostrando incrementos especialmente en el año 2023, esta situación se aprecia en las estaciones: ZM01 Loma Centro, ZM03 Loma 2, ZM13 El Hatillo y ZM20 Costa Hermosa.

En relación con la tendencia de los promedios mensuales, a continuación, se presentan para cada estación los promedios históricos por mes, evidenciando que las mayores concentraciones de material particulado se registran en temporada seca. Dicha temporada fluctúa entre diciembre y febrero, esta situación fue similar para todas las estaciones valoradas en la zona de la estrategia de monitoreo.

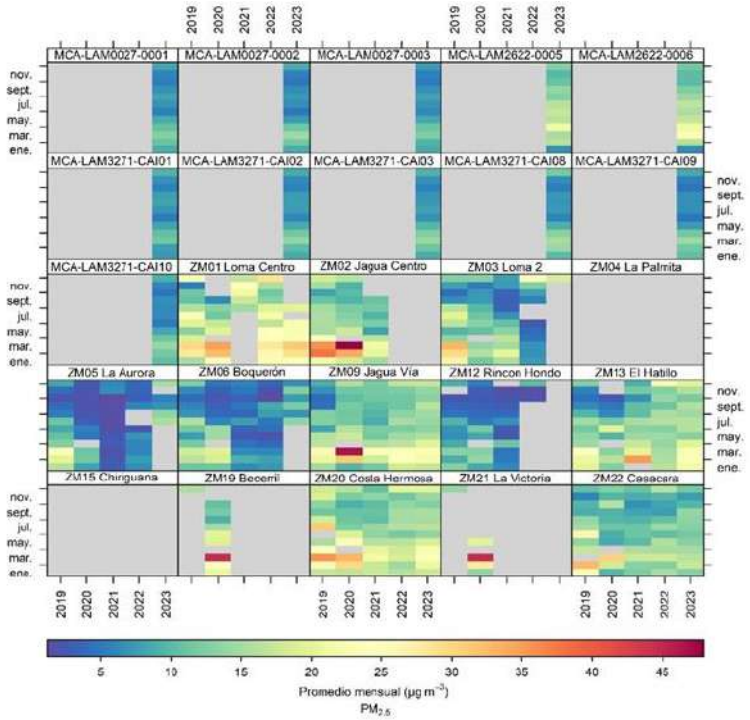


Fuente: ANLA - SIPTA, a partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales y la información descargada del Subsistema de Información sobre Calidad del Aire – SISAIRE - Medidos por CORPOCESAR, 2024

Figura 5. Comportamiento histórico de promedios mensuales de PM_{10}

Conforme a la figura anterior, se resalta que las concentraciones más altas de material particulado asociadas al parámetro PM_{10} se muestran en las estaciones de CORPOCESAR en temporada seca. Adicionalmente, se observa que las estaciones que registraron estas concentraciones fueron: ZM01 Loma Centro, ZM03 Loma 2, ZM09 Jagua vía, ZM13 El Hatillo, ZM19 Becerril y ZM20 Costa Hermosa, estos puntos de monitoreo reportaron una tendencia a reducir sus concentraciones entre los años 2019 a 2021, vinculado a la reducción de operación de las actividades mineras, viales y de la sociedad civil en el transcurso de la pandemia originada por el coronavirus de tipo 2 causante del síndrome respiratorio agudo severo (SARS-CoV-2) surgido en este periodo de tiempo. Sin embargo, en los puntos mencionados se evidencia que a partir del año 2022 las concentraciones de este contaminante están repuntando y presentando incrementos en los años 2022 y 2023 sin llegar a incumplir los limites normativos. Esta situación puede estar relacionada con el retorno de las actividades antrópicas en la zona como el incremento del tráfico vial y las operaciones industriales.

Respecto a los proyectos con expedientes: LAM0027, LAM2622 y LAM3271 se observa que, para el año 2023, en todas sus estaciones se presentaron concentraciones relativamente bajas, especialmente para el último bimestre. Aun así, es evidente que estos proyectos solo tienen un año de análisis (2023), por tanto, se requieren más datos para identificar tendencias en los resultados que se obtendrán en los periodos de seguimiento posteriores.

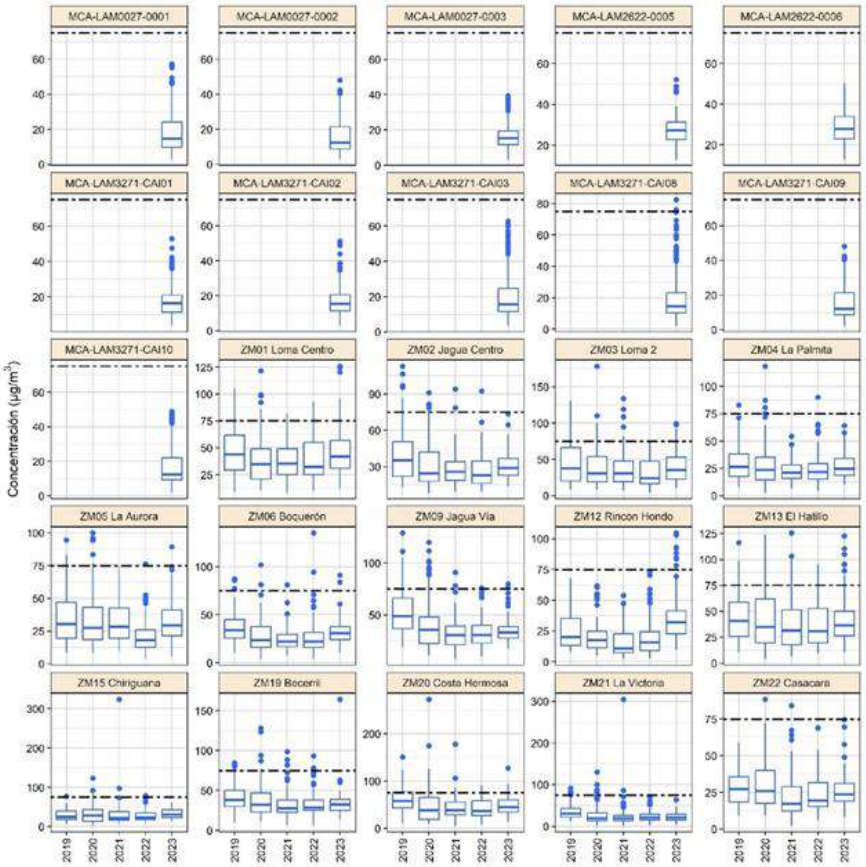


Fuente: ANLA - SIPTA, a partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales y la información descargada del Subsistema de Información sobre Calidad del Aire – SISAIRE - Medidos por CORPOCESAR, 2024

Figura 6. Comportamiento histórico de promedios mensuales de $PM_{2.5}$

Por otra parte, los resultados del material particulado asociado al parámetro PM2.5, que se relaciona estrechamente a la quema de combustibles fósiles, ostentan las mayores concentraciones en las estaciones: ZM01 Loma Centro, ZM09 Jagua vía, ZM13 El Hatillo y ZM20 Costa Hermosa. Estos puntos de monitoreo reportaron una tendencia a reducir sus concentraciones entre los años 2019 a 2021, vinculado a la reducción de operación de las actividades mineras, viales y de la sociedad civil en el transcurso de la pandemia originada por el coronavirus de tipo 2 (SRAS-CoV-2). Sin embargo, en los puntos mencionados se evidencia que a partir del año 2022 las concentraciones de este contaminante están repuntando y presentando incrementos en los años 2022 y 2023, situación similar a la registrada con el parámetro PM10, sin que la mayoría de los datos supere el límite normativo a 24 horas a excepción de algunos días al año. Por otra parte, en los proyectos que con competencia de la ANLA se observa que todas sus estaciones en el año de registro presentan concentraciones más bajas, que cumplen con el límite normativo. Sin embargo, solo tienen un año de análisis (2023), por tanto, se requieren más datos para identificar tendencias.

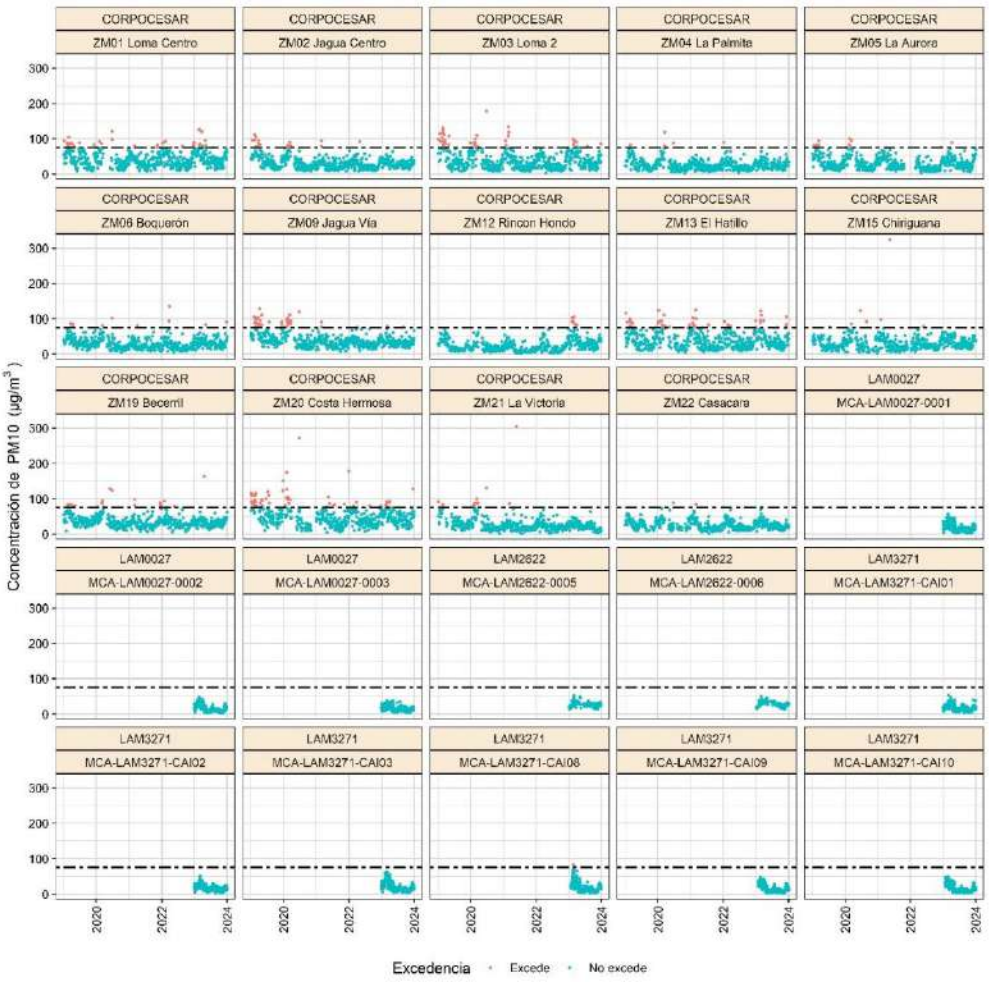
En cuanto al estudio de las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en tiempo de exposición diario (Figura 7), se realizó un análisis de percentiles a manera de diagramas de caja, los cuales se presentan a continuación.



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 - Medidos por CORPOCESAR, 2024

Figura 7. Diagramas de caja con la distribución de los promedios diarios de PM_{10}

De estos resultados, se observa que los datos de PM_{10} en las estaciones y años analizados, en las medianas o percentiles 50 se encuentran por debajo del nivel máximo permisible de 75 µg/m^3; no obstante, si bien la tendencia general es de cumplimiento, se presentaron algunas excedencias en estaciones de monitoreo especialmente en el sistema de vigilancia de la calidad del aire de CORPOCESAR. Adicionalmente, solo la estación de monitoreo denominada: MCA-LAM3271-CAI08 del proyecto LAM3271, registró datos esporádicos que superaron el estándar normativo. Las excedencias identificadas en la figura anterior y la siguiente, se presentaron en varios años del periodo de análisis de las estaciones de la Corporación y en el año 2022 para el expediente LAM3271. Por tanto, en el proceso de seguimiento del proyecto se debe validar si las excedencias de la estación se continúan presentando o correspondían a situaciones atípicas, en caso de continuar este tipo de concentraciones se debe fortalecer la aplicación de medidas de reducción del material particulado en la zona aledaña a este punto de monitoreo.

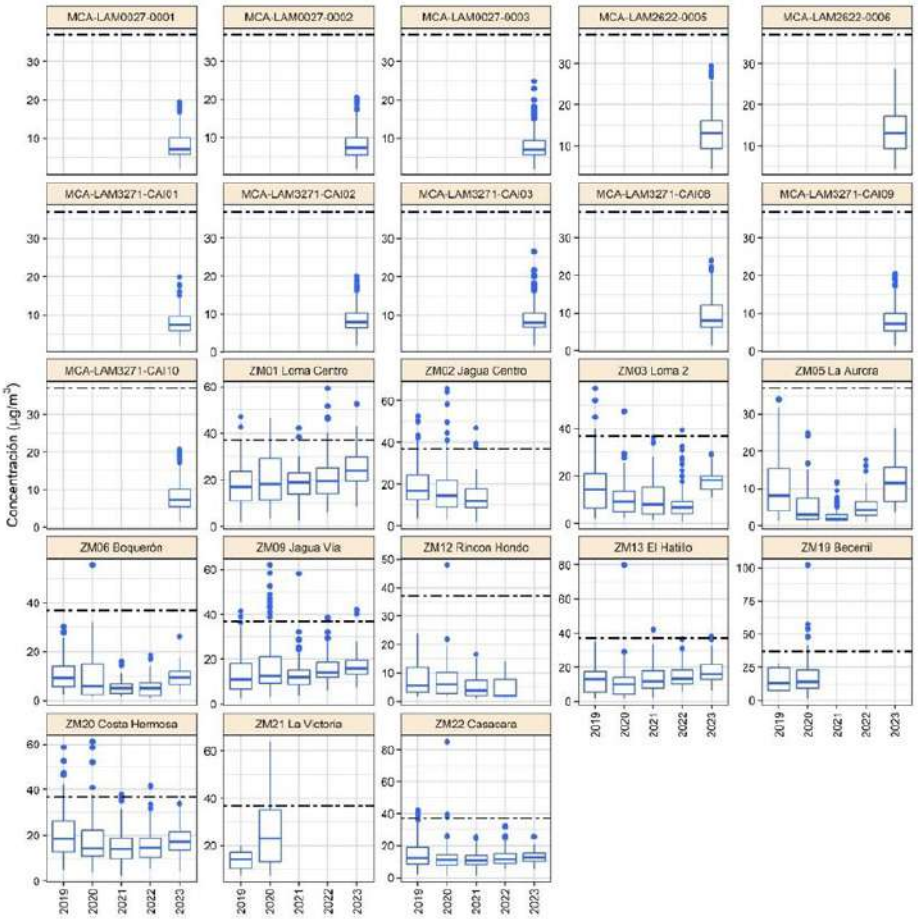


Fuente: ANLA - SIPTA, a partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales y la información descargada del Subsistema de Información sobre Calidad del Aire – SISAIRE - Medidos por CORPOCESAR, 2024

Figura 8. Tendencia temporal de las concentraciones diarias de PM_{10}

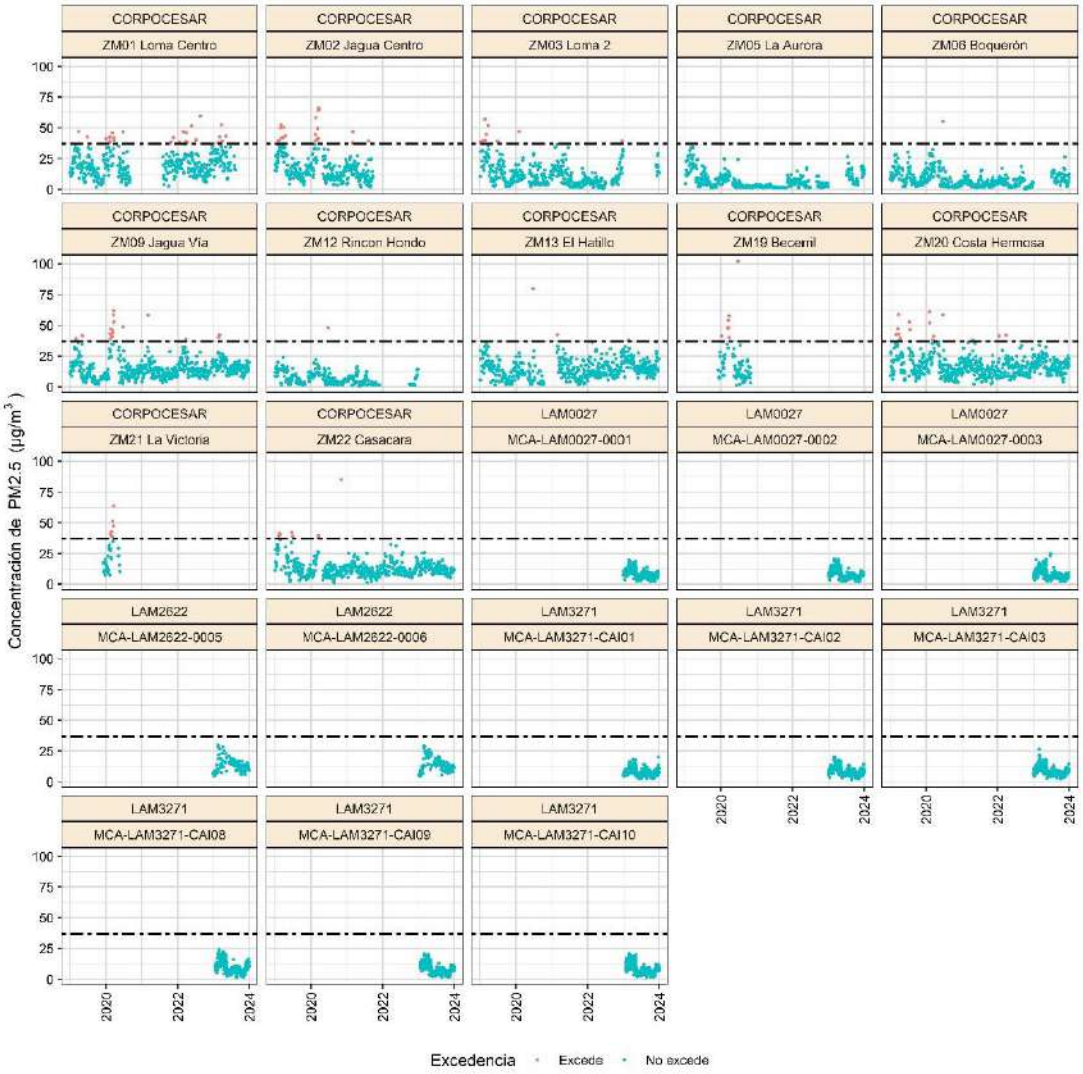
En relación con el material particulado $PM_{2.5}$, las medianas o percentil 50 muestran que la gran mayoría de los datos dan un amplio cumplimiento normativo. Sin embargo, se presentan algunos datos diarios atípicos, que superaron el nivel máximo permisible de 37 µg/m³ establecido en la Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, para las estaciones que están asociadas al monitoreo que lleva a cabo CORPOCESAR, en varios años de análisis. Adicionalmente, en los resultados de los proyectos con seguimiento de la ANLA ninguna estación superó el estándar normativo de este parámetro para el 2023, por tanto, se requiere continuar con los estudios para confirmar la tendencia de los resultados.

La distribución temporal de las concentraciones de $PM_{2.5}$ para el periodo analizado se presenta en la siguiente figura, donde se evidencian excedencias del nivel máximo permisible de 37 µg/m³ señalado con una línea punteada, coincidentes con las estaciones referenciadas con excedencias diarias, en el análisis anterior.



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 - Medidos por CORPOCESAR, 2024

Figura 9. Distribución de promedios diarios 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 - Medidos por CORPOCESAR, 2024

Figura 10. Tendencia temporal de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$

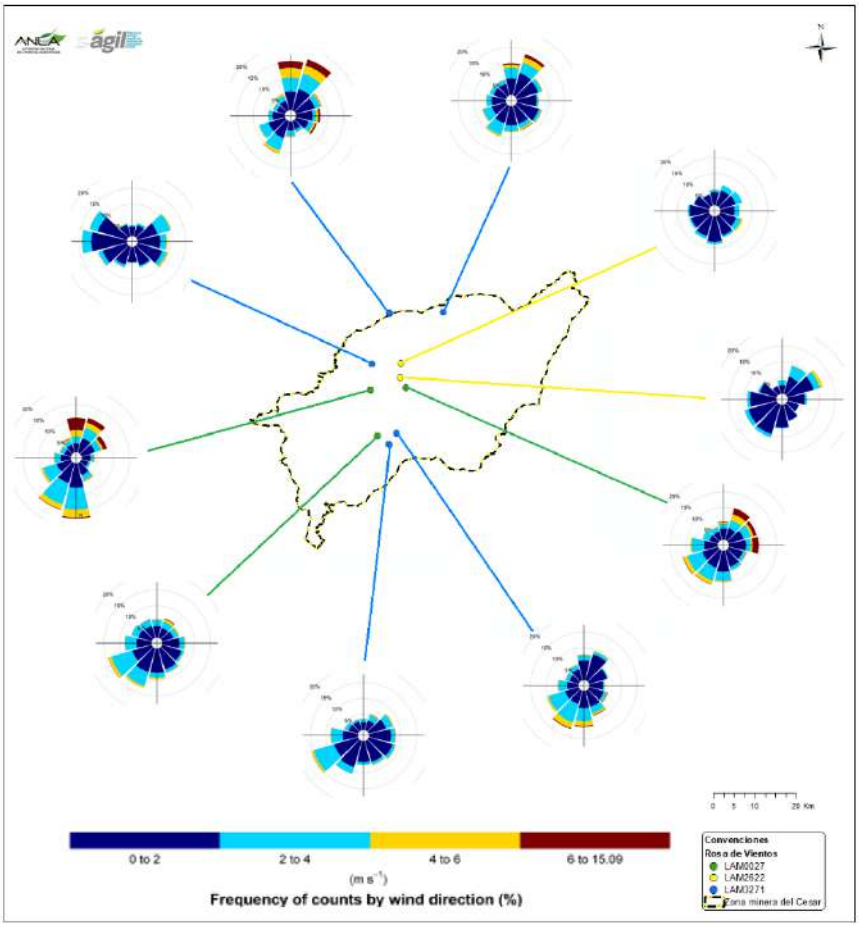
En general, la tendencia de los datos diarios muestra cumplimiento de los niveles máximos permisibles establecidos en la normatividad nacional, en los proyectos a cargo de la ANLA con expedientes LAM0027, LAM2622 y LAM3271, que fueron analizados para el año 2023. Sin embargo, los resultados del SVCA de CORPOCESAR presentan algunas excedencias y una tendencia creciente de las concentraciones en los años 2022 y 2023 en algunas de sus estaciones de monitoreo, que pueden estar atribuidas a condiciones meteorológicas específicas o la actividad de las fuentes de emisiones de contaminantes atmosféricos como vías o industrias.

Lo anterior, demuestra la necesidad de continuar con la estrategia de monitoreo para la recopilación de datos que son remitidos a la ANLA en los proyectos que son de su competencia y continuar consolidando la base de datos que confirmen la tendencia de la

calidad del aire en la zona. Adicional, se confirma el adecuado aporte de los estudios de calidad del aire del sistema de vigilancia de CORPOCESAR, debido que estos resultados permiten hacer seguimiento a una zona de alto interés por la actividad industrial que la circunda.

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

A continuación, se analiza la velocidad y dirección del viento por medio de las rosas de viento obtenidas a partir de los datos para el año 2023 de los tres (3) proyectos que reportaron a la estrategia de monitoreo. Las rosas de viento generadas corresponden a tres (3) para el proyecto LAM0027; dos (2) para el LAM2622 y cinco (5) para el LAM3271, las cuales se presentan a continuación:



Fuente: ANLA - SIPTA, a partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales, 2024

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

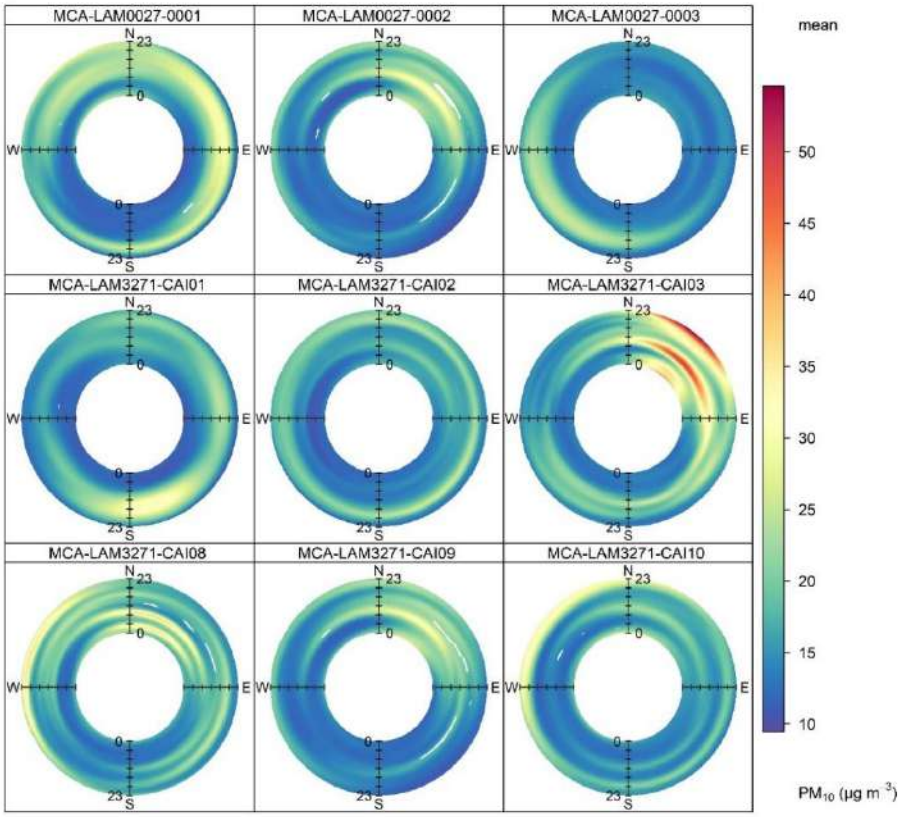
De acuerdo con la figura anterior, se evidencia que no existe una tendencia de dirección del viento predominante en el área de la estrategia. Sin embargo, se evidencia que al norte las dos (2) rosas presentan una tendencia similar de dirección del viento hacia el suroeste. Por

otro lado, las tres (3) rosas de viento generadas al sur del área presentan una tendencia con dirección predomínate al noreste. Finalmente, las cinco (5) rosas de vientos ubicadas en el en el centro del área presentan un predominio de dirección del viento hacia el noreste.

Respecto a los rangos de velocidades para el área de la estrategia se presentan porcentajes de velocidades del viento superiores a 6 m/s y en el rango de 4 a 6 m/s, sin embargo, el predominio general del porcentaje está en el rango de velocidades de 0 a 2 m/s, seguido del rango de 2 a 4 m/s.

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

Para profundizar en los análisis de tendencias y, teniendo en cuenta el hecho de que se cuenta con datos de concentración en resolución horaria, se procede a cruzar estos datos con los correspondientes a la dirección del viento y la hora del día, obteniendo los siguientes gráficos polares anulares, para el 2023.

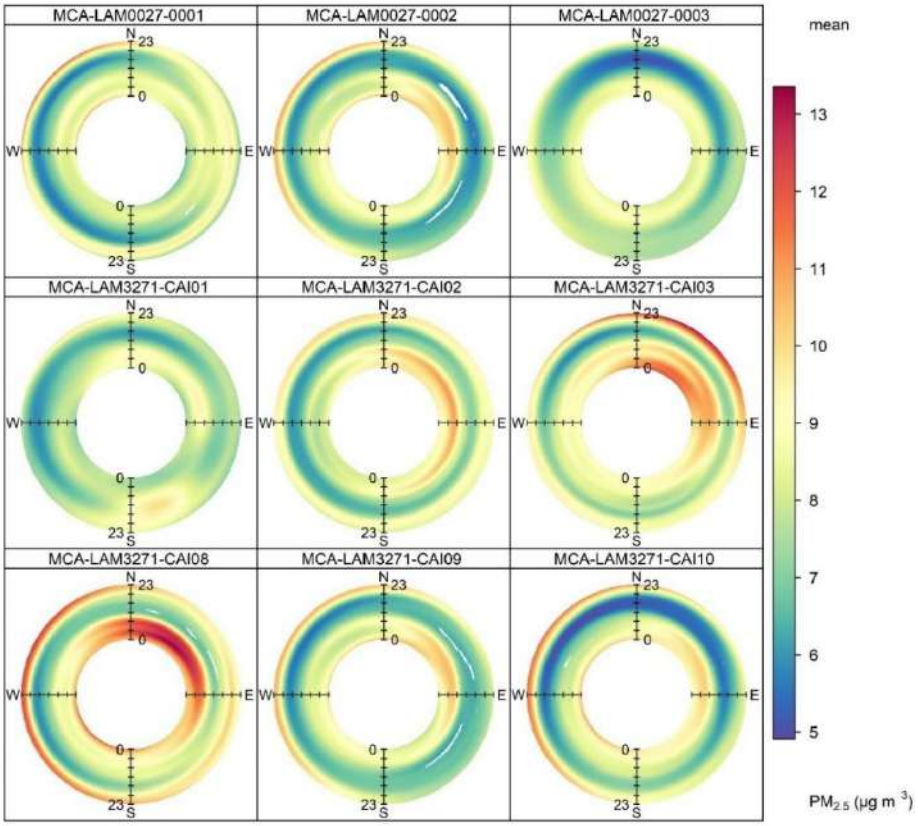


Fuente: ANLA - SIPTA, a partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales, 2024

Figura 12. Gráficos polares anulares para las estaciones de calidad del aire (PM_{10}) en 2023

Considerando la figura anterior, de manera general se presentan concentraciones bajas de PM_{10} en la mañana de las 0 a las 8 horas desde todas las direcciones. A partir de las 8 de la mañana se presentan incrementos de las concentraciones del contaminante, que pueden llegar a 35 µg/m³.

Para la estación MCA-LAM3271-CAI03, las concentraciones más altas provienen de la dirección noroeste (>40 µg/m3), alrededor de las 0, 12 y 23 horas del día. Al noreste de la citada estación se ubican las áreas de explotación minera del proyecto LAM3271 aproximadamente a 8 km de distancia, las cuales podrían estar aportando a esta concentración.



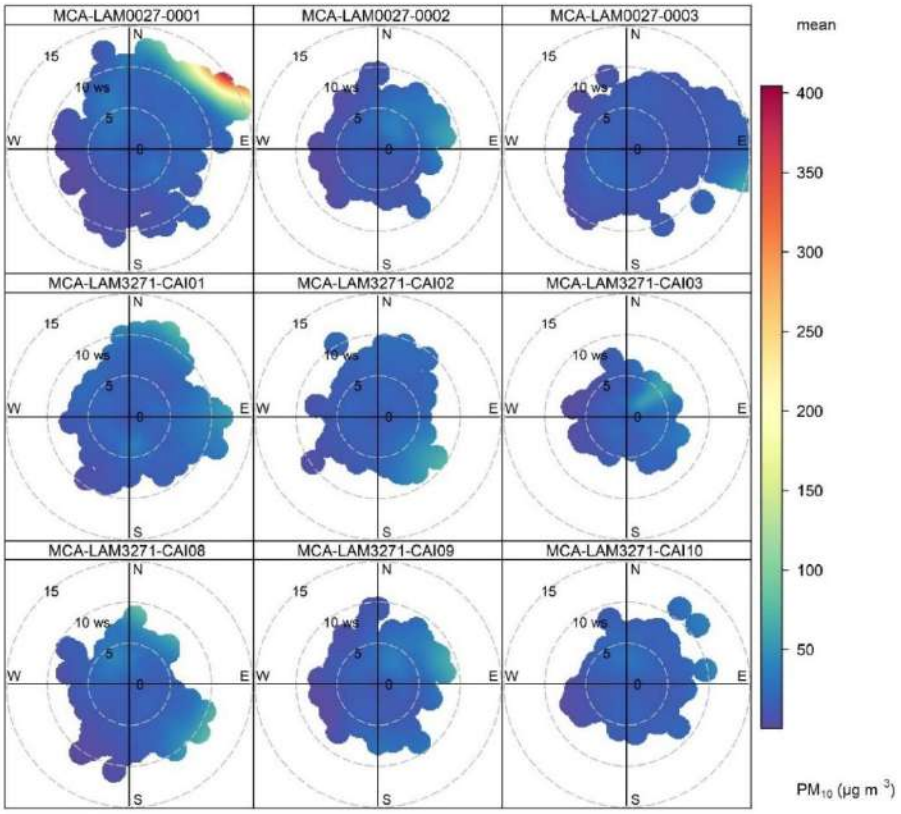
Fuente: ANLA - SIPTA, a partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales, 2024

Figura 13. Gráficos polares anulares para las estaciones de calidad del aire ($PM_{2.5}$) en 2023

Respecto al material particulado $PM_{2.5}$, en el trascurso del día se presentan concentraciones que oscilan en el rango de 5 a 11 µg/m³. Las concertaciones más bajas (5 µg/m³) se presentan en horas de la tarde (12 a 16 horas), mientras que las concentraciones más altas (>11 µg/m3) ocurren entre las 0 y 8 horas y cercano a las 23 horas. Las estaciones de monitoreo que presentan las concentraciones más altas (>13µg/m³) y las direcciones de donde provienen estas, son al noreste de la estación MCA-LAM3271-CAI03 ubicada aproximadamente a 8 km de las áreas de explotación minera del proyecto LAM3271, y MCA-LAM3271-CAI08 en donde

aproximadamente a 60 metros en dirección noreste se ubica la salida con una vía destapada de tres (3) viviendas rurales, la cual podría ser una fuente aportante a la emisión.

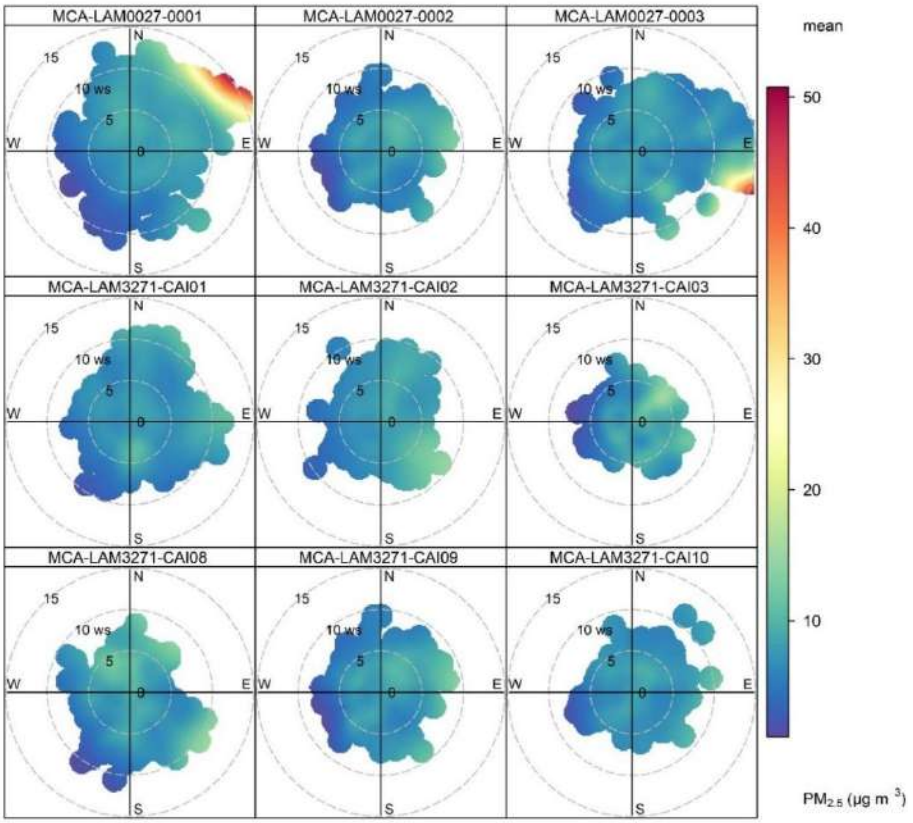
Al reemplazar en los diagramas anulares la hora del día con la velocidad del viento, se obtienen los diagramas polares (Figura 14). Para PM_{10}, en la estación de monitoreo MCA-LAM0027-0001 en el año 2023, se observan altas concentraciones cuando la velocidad del viento supera los 6 m/s desde la dirección noreste lo cual se encuentra atribuido a la influencia de fuentes de emisión lejanas. Esta estación se encuentra rodeada de actividad minera a excepción de la dirección suroeste, para la dirección noreste aproximadamente a 8 km se ubica un área de explotación minera.



Fuente: ANLA - SIPTA, a partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales, 2024

Figura 14. Gráficos polares para las estaciones de calidad del aire (PM_{10}) en 2023

El material particulado $PM_{2.5}$ presentó un comportamiento similar al PM_{10} en la estación de monitoreo MCA-LAM0027-0001 para el año 2023 (Figura 15). Se observan altas concentraciones cuando la velocidad del viento supera los 6 m/s desde la dirección noreste. Para la estación MCA-LAM0027-0003 se presentan concentraciones altas del contamínate cuando la velocidad del viento supera los 6 m/s desde la dirección este, lo cual se encuentra atribuido a la influencia de fuentes de emisión lejanas que podrían variar, al ser de proyectos o de tipo doméstico.



Fuente: ANLA - SIPTA, a partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales, 2024

Figura 15. Gráficos polares para las estaciones de calidad del aire ($PM_{2.5}$) en 2023

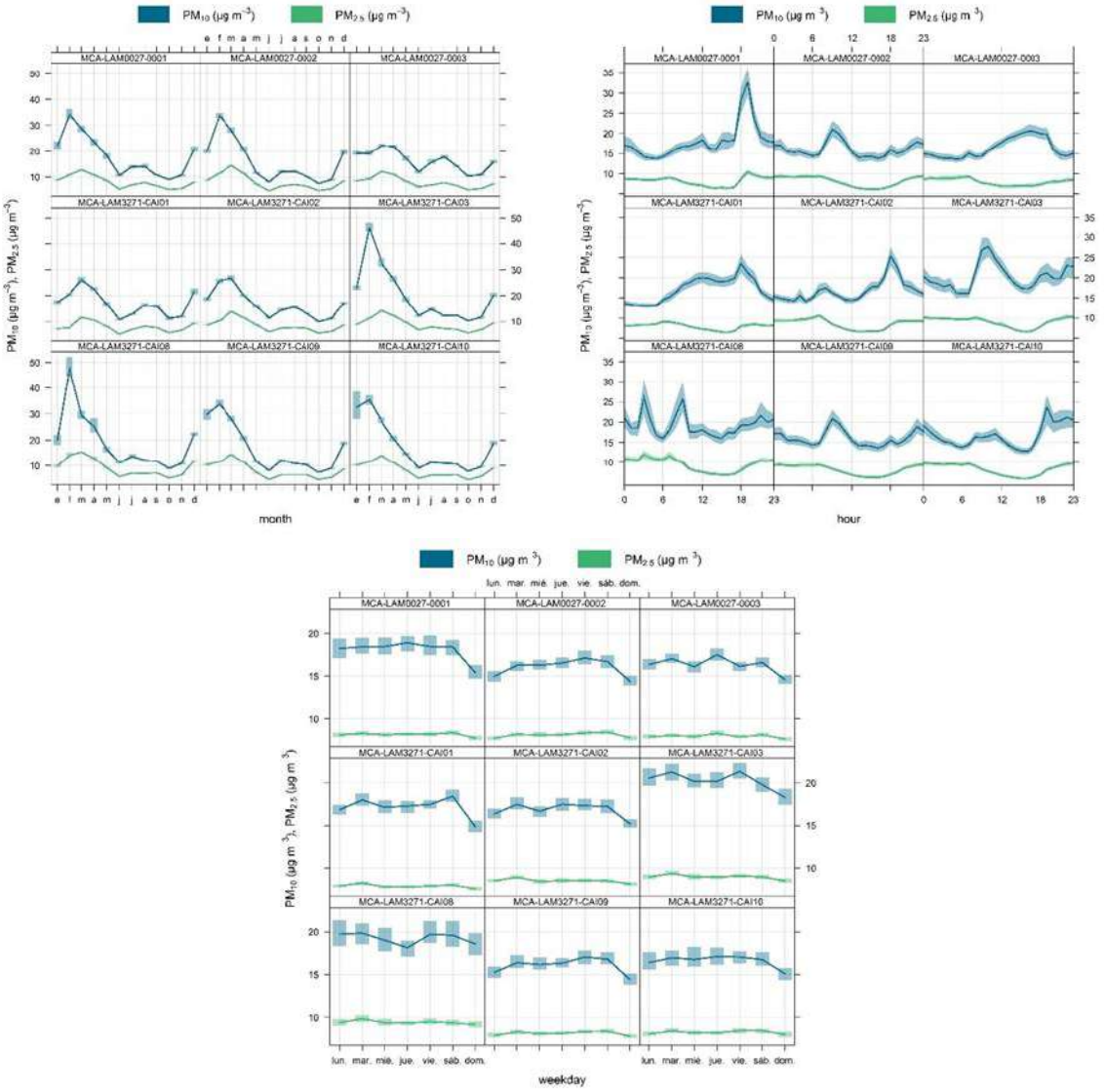
Los gráficos polares presentados anteriormente para las estaciones MCA-LAM0027-0002 y MCA-LAM3271-CAI09, corresponde a la misma estación de monitoreo que reporta para dos (2) proyectos distintos.

2.1.4. Análisis de ciclos temporales

Considerando que este tipo de análisis requiere registros horarios de información de calidad del aire y solo las estaciones con tecnología automática de los proyectos a cargo de la ANLA, con expedientes LAM0027 y LAM3271 reportaron los datos de esta forma, el análisis de ciclos temporales se realizó únicamente en estas estaciones de monitoreo.

En el análisis de ciclos temporales que se muestra en la Figura 16, se verificaron las concentraciones de los contaminantes: PM_{10} y $PM_{2.5}$, con resultados del periodo de tiempo comprendido entre enero a diciembre del 2023. Los resultados se muestran en las siguientes situaciones: registros horarios separando mañana y tarde, el comportamiento semanal con datos diarios de lunes a domingo y los promedios mensuales del periodo de análisis. Finalmente, en las siguientes figuras se muestran las tendencias de las concentraciones, presentando el $PM_{2.5}$ en color verde y PM_{10} en azul.

Por otra parte, en las estaciones de monitoreo de los proyectos en análisis se observa que los ciclos diarios de lunes a domingo tienden a ser heterogéneos presentando variaciones y registrando el domingo como el día con menores concentraciones de material particulado. Igualmente, las concentraciones horarias presentan considerables variaciones entre las horas de la mañana y la tarde, con incrementos o valores pico en las horas de la tarde, después de 12:00 m, especialmente con el parámetro PM10 lo que sugiere una influencia de material grueso relacionada con la resuspensión del material en vías y zonas escarpadas o actividades industriales que lo generen. Lo anterior, evidencia una menor presencia de material particulado fino que está asociado a la quema de combustibles fósiles, puesto que el parámetro $PM_{2.5}$ presentó un comportamiento más homogéneo en todos los análisis temporales realizados. Finalmente, el comportamiento mensual de estas estaciones muestra que los parámetros en estudio registraron mayores concentraciones en temporada seca.



Fuente: ANLA - SIPTA, a partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales, 2024

Figura 16. Tendencias temporales de las estaciones de calidad del aire en 2023.

2.1.5. Análisis del Índice de Calidad del Aire – ICA

El análisis de los índices de Calidad de Aire ICA diarios de PM_{10} y $PM_{2.5}$ reglamentados por el Capítulo IV de la Resolución 2254 del 01 de noviembre de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible se precisa a continuación para cada expediente y punto de monitoreo. Al respecto, es importante destacar que, de acuerdo con la resolución anterior, el índice de calidad del aire se encuentra asociado con los siguientes efectos.

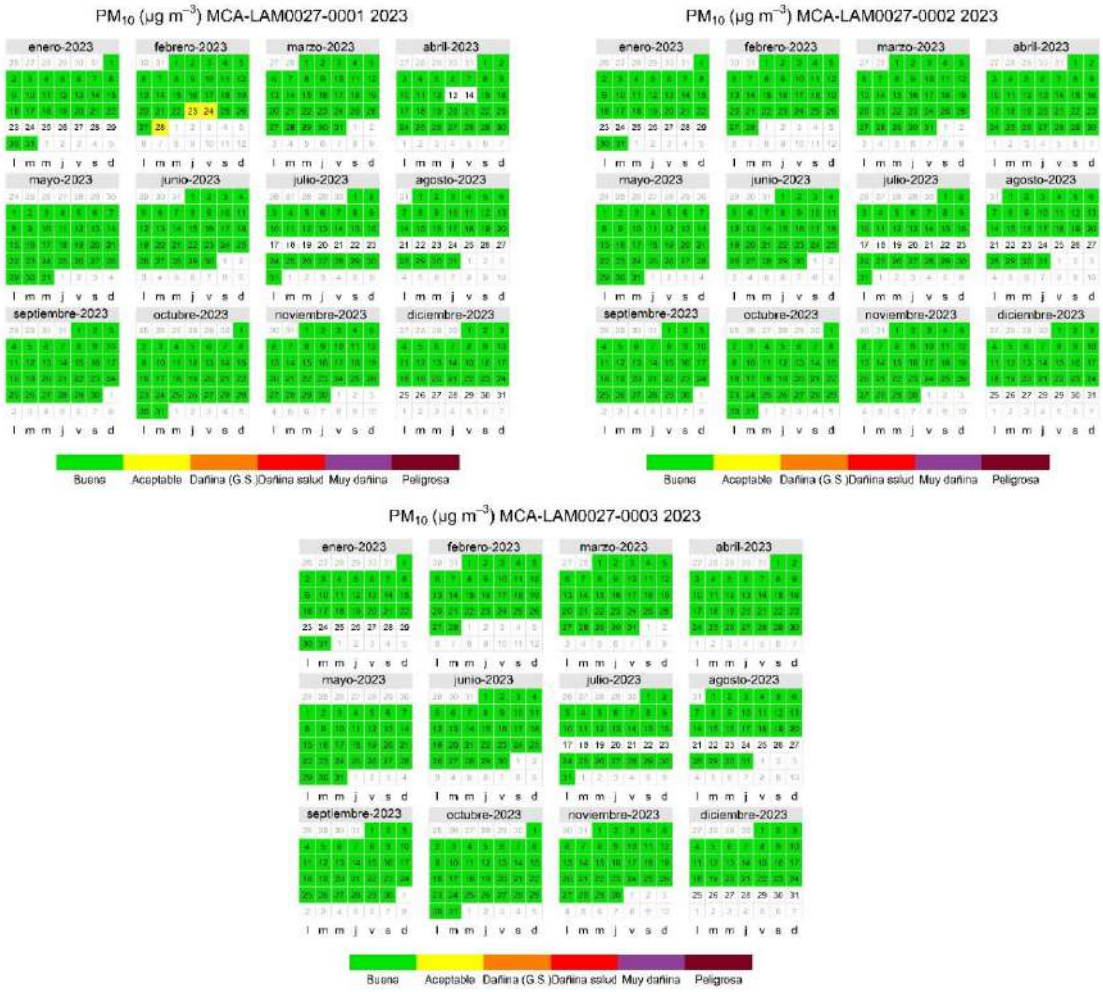
Tabla 5. Descripción general del Índice de Calidad del Aire

RANGO	COLOR	ESTADO DE LA CALIDAD DEL AIRE	EFECTOS
0-50	Verde	Buena	La contaminación atmosférica supone un riesgo bajo para la salud.
51-100	Amarillo	Aceptable	Posibles síntomas respiratorios en grupos poblacionales sensibles.
101-150	Naranja	Dañina a la salud de grupos sensibles	Los grupos poblaciones sensibles pueden presentar efectos sobre la salud. 1) Ozono Troposférico: Las personas con enfermedades pulmonares, niños, adultos mayores y las que constantemente realizan actividad física al aire libre, deben reducir su exposición a los contaminantes del aire. 2) Material Particulado: Las personas con enfermedad cardíaca o pulmonar, los adultos mayores y los niños se consideran sensibles y por lo tanto en mayor riesgo.
151-200	Rojo	Dañina para la salud	Todos los individuos pueden comenzar a experimentar efectos sobre la salud. Los grupos sensibles pueden experimentar efectos más graves para la salud.
201-300	Púrpura	Muy Dañina para la salud	Estado de alerta que significa que todos pueden experimentar efectos más graves para la salud.
301 – 500	Marrón	Peligroso	Advertencia sanitaria. Toda la población puede presentar efectos adversos graves en la salud humana y están propensos a verse afectados por graves efectos sobre la salud.

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

2.1.5.1. Expediente: LAM0027

Como se podrá evidenciar en las figuras a continuación, para el expediente LAM0027, los resultados del ICA calculados para un tiempo de exposición de 24 horas, para los valores de PM_{10}, en el año 2023 reflejaron que, solo la estación MCA-LAM0027-001, registró un ICA en categoría “Aceptable” para el mes de febrero; los demás resultados permiten evidenciar que en su mayoría el estado de la calidad del aire, reflejado en el índice es de categoría “Buena”.



Fuente: ANLA – SIPTA, a partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales, 2024

Figura 17. Índices de calidad del aire de 2023 ICA PM_{10} – LAM0027

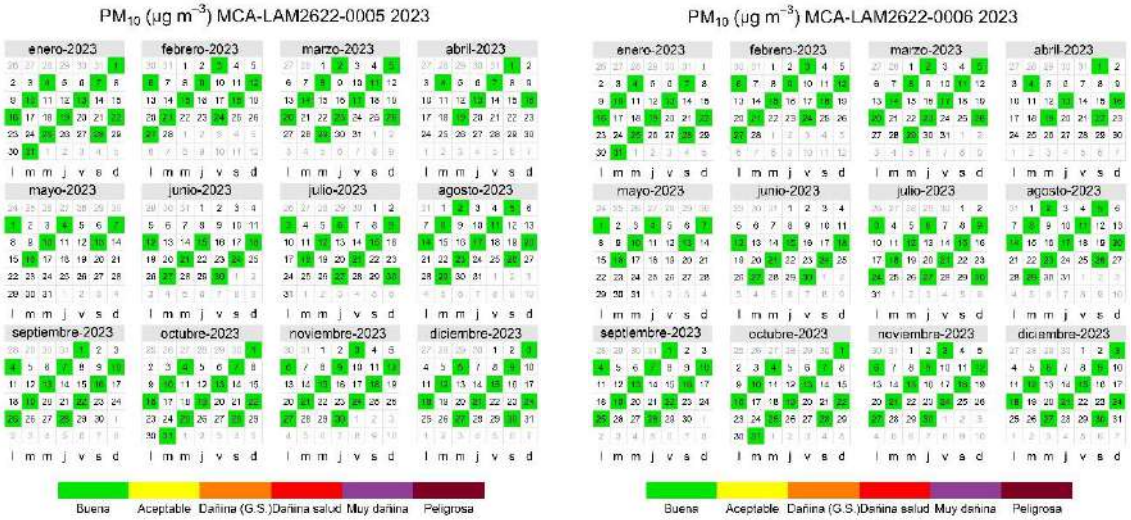
En cuanto al material particulado menor a 2.5 micras ($PM_{2.5}$), los índices de calidad de aire ICA, como se detallan a continuación, permiten identificar que para 2023 todas las estaciones presentaron registros que categorizan el estado de la calidad del aire como "Aceptable" alcanzando un promedio de 10,13% de datos totales en esta categoría, con predominancia presentada en el primer semestre del año.

Fuente: ANLA – SIPTA, a partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales, 2024

Figura 18. Índices de calidad del aire de 2023 ICA $PM_{2.5}$ – LAM0027

2.1.5.2. Expediente: LAM2622

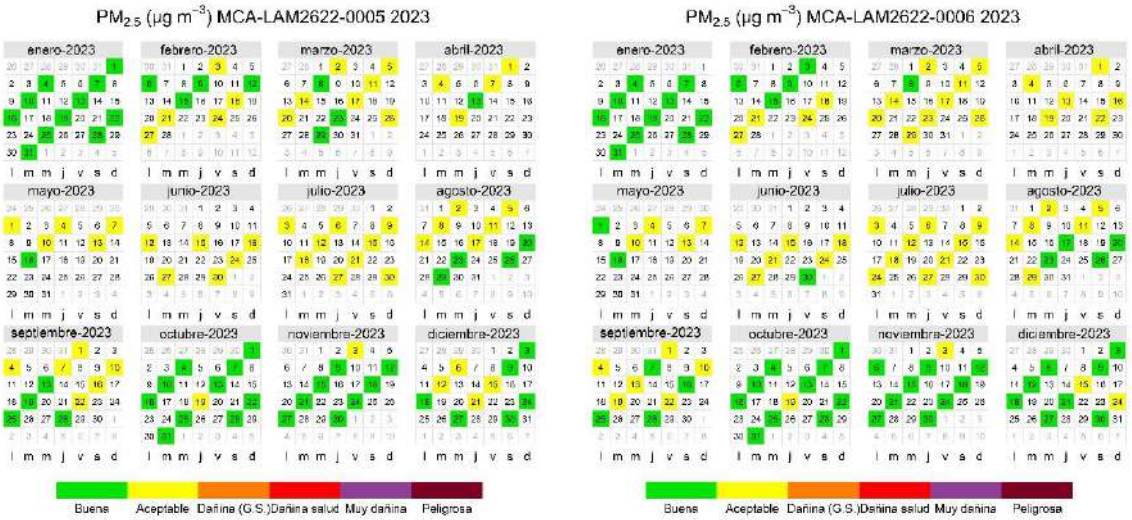
Para el expediente LAM2622, los resultados del ICA calculados para un tiempo de exposición de 24 horas para los valores de PM_{10} del año 2023, se observó que el 100% de los registros determinaron un ICA de clasificación “Bueno”, como se puede evidenciar en las siguientes figuras.



Fuente: ANLA – SIPTA, a partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales, 2024

Figura 19. Índices de calidad del aire de 2023 ICA PM_{10} – LAM2622

Respecto al comportamiento de $PM_{2.5}$, para el año 2023, el 49,1% de los registros presentaron un ICA en categoría "Bueno" y el 50,9% en "Aceptable", donde la mayoría de los datos para esta última categorización se presentan entre marzo y agosto (Figura 20).



Fuente: ANLA – SIPTA, a partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales, 2024

Figura 20. Índices de calidad del aire de 2023 ICA $PM_{2.5}$ – LAM2622

2.1.5.3. Expediente: LAM3271

Como se podrá evidenciar en las figuras siguientes, el 100% de los datos de material particulado PM_{10} presentaron un ICA en categoría "Bueno" para las estaciones CAI01, CAI02, CAI09 y CAI10; y las estaciones CAI03 y CAI08 únicamente presentaron registros con categoría ICA "Aceptable", entre febrero y abril.

Fuente: ANLA – SIPTA, a partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales, 2024

Figura 21. Índices de calidad del aire de 2023 ICA PM_{10} – LAM3271

Respecto del material particulado $PM_{2.5}$ (Figura 22), para el proyecto LAM3271 durante el 2023 se presentó un promedio 12,3% de datos en categoría “Aceptable”. El valor 87,7% restante, son registros en categoría “Buena”.

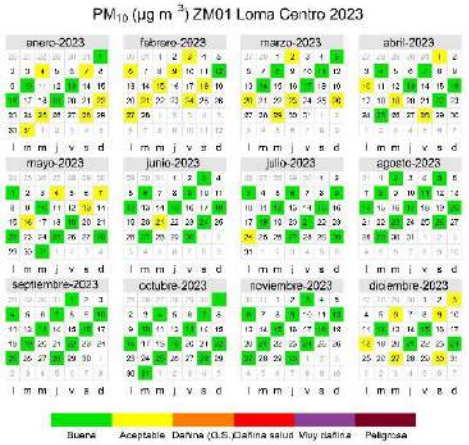
Fuente: ANLA – SIPTA, a partir de los datos del Sistema de Información de Licencias Ambientales, 2024

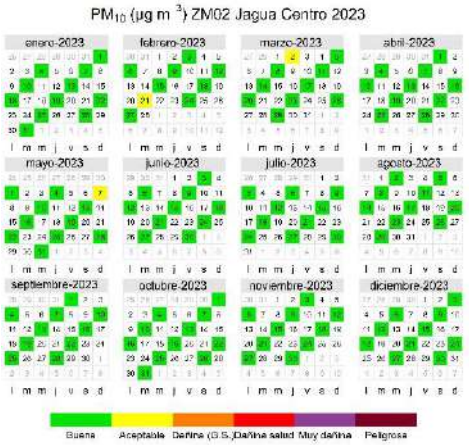
Figura 22. Índices de calidad del aire de 2023 ICA $PM_{2.5}$ – LAM3271

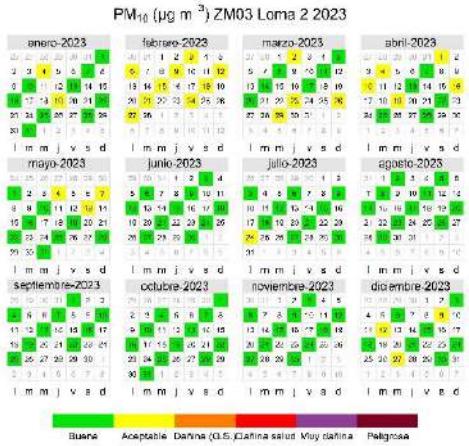
2.1.5.4. SEVCA ZMC - CORPOCESAR

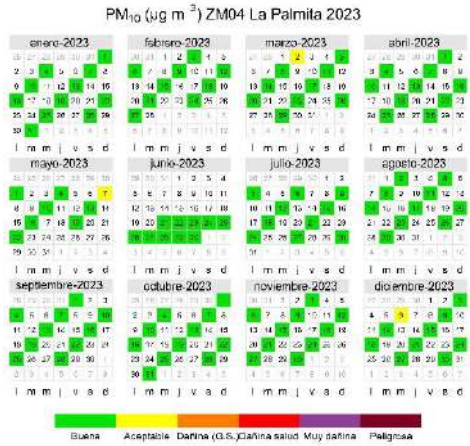
Considerando que para este SEVCA se cuenta con registros de los últimos cinco años (2019 – 2023), a continuación, se analizan únicamente los datos del año 2023. Cabe precisar que la totalidad de las figuras se presentan en el *Anexo: Índices de Calidad del Aire*, en el presente documento.

Respecto del material particulado PM_{10}, como se puede identificar a continuación, las estaciones ZM01 La Loma Centro, ZM03 Loma 2, ZM12 Rincón Hondo, ZM13 El Hatillo, ZM20 Costa Hermosa, registraron datos diarios del ICA en categoría "Aceptable", especialmente concentradas en los dos primeros bimestres del año. La categoría "Dañina a la salud de grupos sensibles" se presentó únicamente el 19 de abril de 2023, en la estación "ZM19 Becerril".

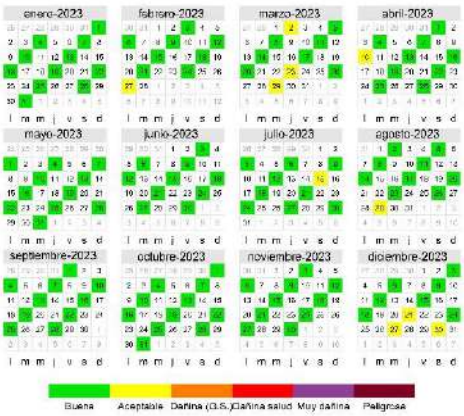




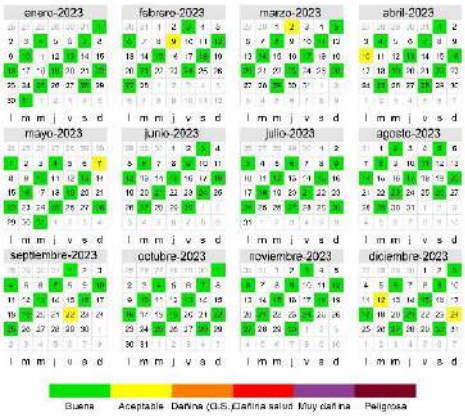




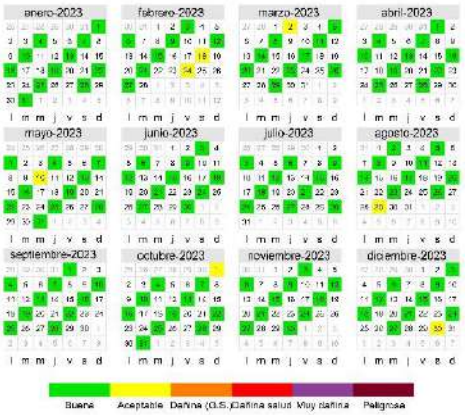
PM$_{10}$ (µg m^{-3}) ZM05 La Aurora 2023



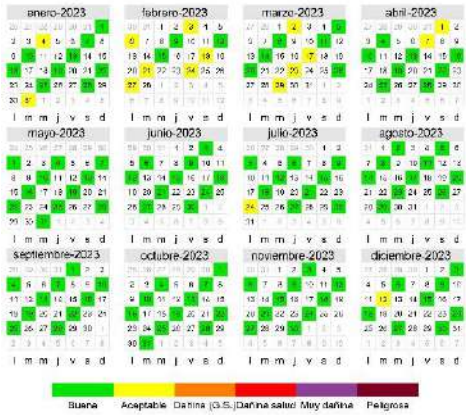
PM$_{10}$ (µg m^{-3}) ZM06 Boquerón 2023



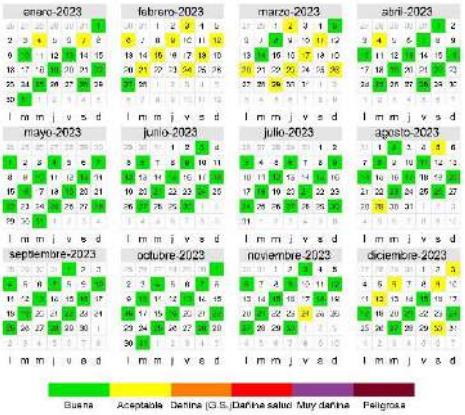
PM$_{10}$ (µg m^{-3}) ZM09 Jagua Vía 2023



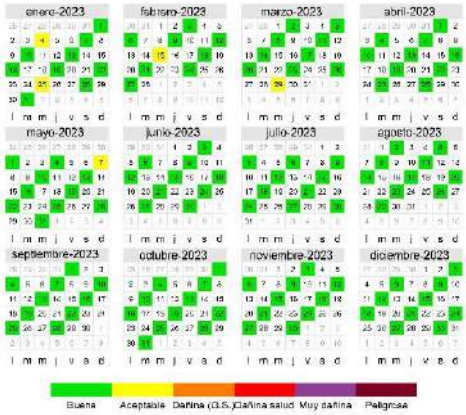
PM$_{10}$ (µg m^{-3}) ZM12 Rincon Hondo 2023

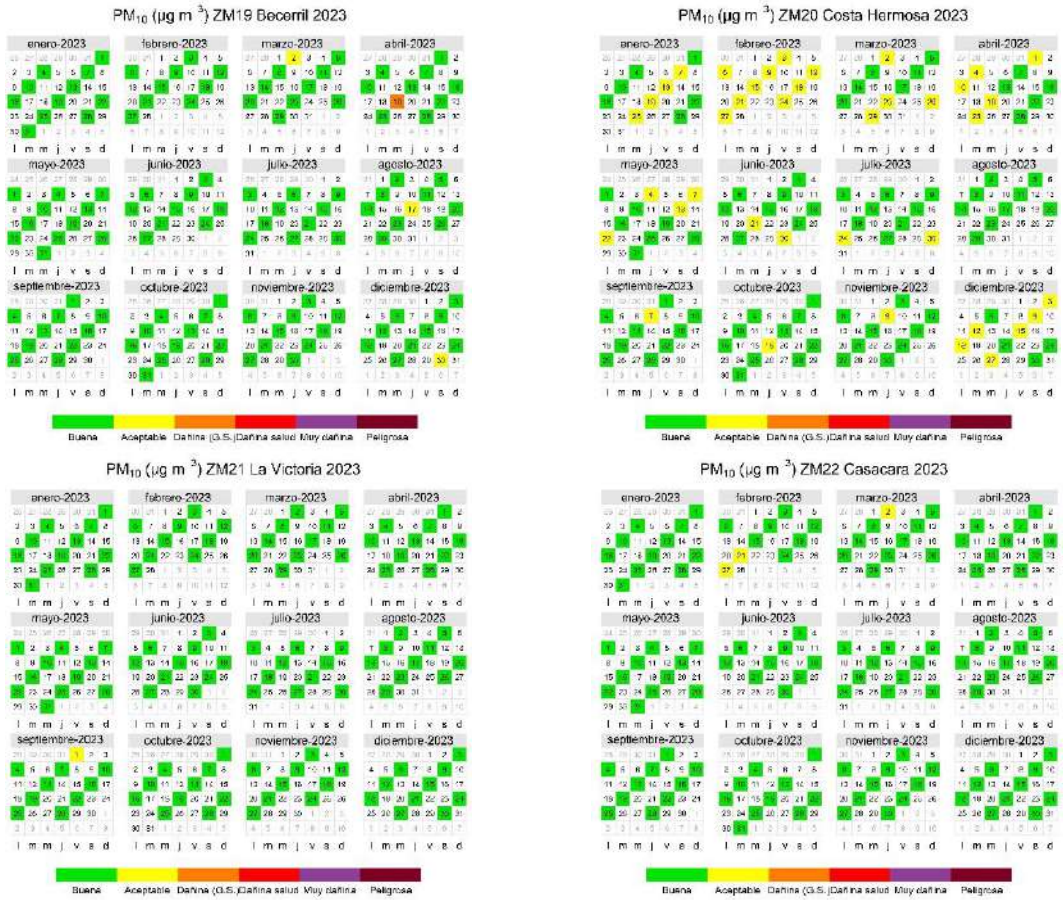


PM$_{10}$ (µg m^{-3}) ZM13 El Hatillo 2023



PM$_{10}$ (µg m^{-3}) ZM15 Chiriguana 2023





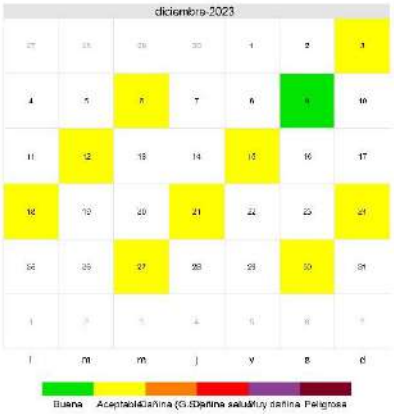
Fuente: ANLA – SIPTA, a partir de los datos del SEVCA ZMC CORPOCESAR en SISAIRE, 2024

Figura 23. Índices de calidad del aire de 2023 ICA PM_{10} – SEVCA ZMC CORPOCESAR

Respecto de los resultados del ICA para el material particulado $PM_{2.5}$ para el 2023 (Figura 24), en promedio el 35% de los registros presentaron una categoría “Buena” del índice de la calidad del aire, 63% como “Aceptable” y 2% como “Dañina a la salud de grupos sensibles”, lo que muestra que el $PM_{2.5}$ tiene un mayor potencial de afectación a la salud respecto al PM_{10}.

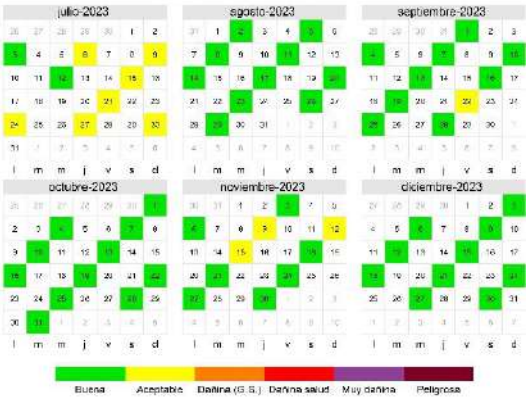
$PM_{2.5}$ (µg m $^{-3}$) ZM01 Loma Centro 2023

$PM_{2.5}$ (µg m $^{-3}$) ZM03 Loma 2 2023

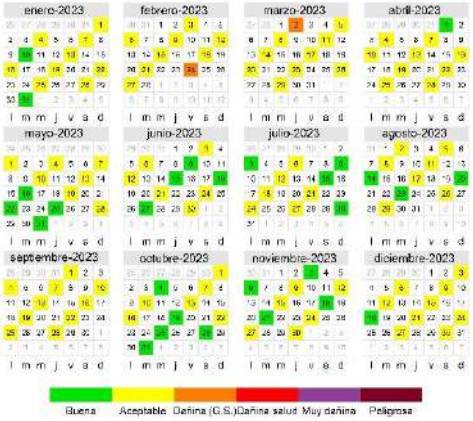


$PM_{2.5}$ (µg m^{-3}) ZM05 La Aurora 2023

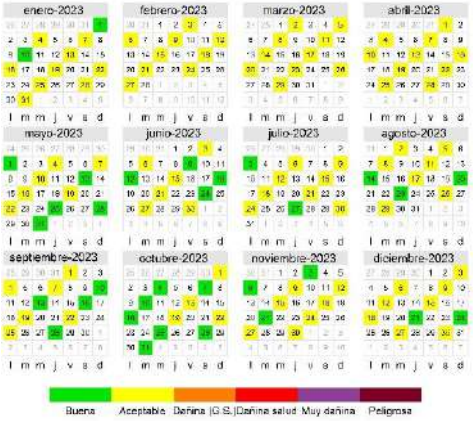
$PM_{2.5}$ (µg m^{-3}) ZM06 Boquerón 2023

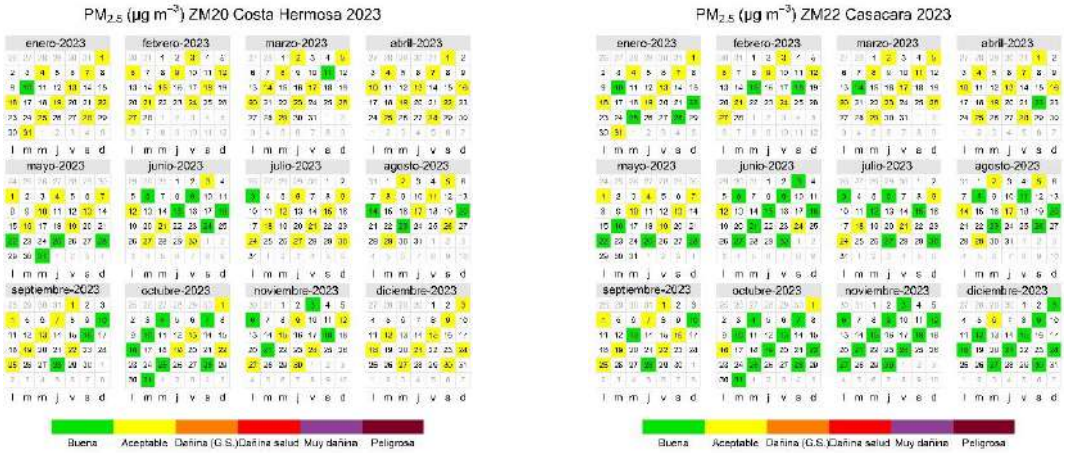


$PM_{2.5}$ (µg m^{-3}) ZM09 Jagua Vía 2023



$PM_{2.5}$ (µg m^{-3}) ZM13 El Hatillo 2023





Fuente: ANLA – SIPTA, a partir de los datos del SEVCA ZMC CORPOCESAR en SISAIRE, 2024

Figura 24. Índices de calidad del aire de 2023 ICA $PM_{2.5}$ – SEVCA ZMC CORPOCESAR

2.2. MODELACIÓN DE DISPERSION DE MATERIAL PARTICULADO PM_{10} – $PM_{2.5}$

Con el propósito de analizar desde una visión regional el estado de la calidad del aire en la Zona Minera del Cesar, considerando los proyectos licenciados activos, desde el Centro de Monitoreo de los Recursos Naturales de la ANLA se desarrolló un modelo regional de dispersión de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$, con registros de variables meteorológicas y de emisiones atmosféricas del año 2022. El área de estudio de modelación corresponde, según la información disponible, a proyectos que desarrollan actividades mineras contemplados, los cuales se resumen a continuación.

Tabla 6. Proyectos incluidos en modelación de La Guajira

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

Fuente: ANLA - SIPTA, Documento técnico modelo de dispersión de emisiones contaminantes de PM_{10}-$PM_{2.5}$ para la Zona Minera del Cesar. ANLA, 2024

En el desarrollo de la modelación se presentaron las siguientes restricciones y/o limitaciones, en el sentido que no se incluyen otras fuentes de emisión de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) de la zona, y que no son competencia del control y seguimiento de la ANLA, como:

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

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

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

El criterio estadístico contemplado corresponde al percentil 50 o mediana de la serie temporal del año 2022, lo que refleja el dato central asociado a la variabilidad de los datos presentando las siguientes concentraciones:

- Concentración de fondo PM_{10}: 18,16 µg/m³
- Concentración de fondo $PM_{2.5}$: 4,26 µg/m³

Frente a los resultados, se obtuvieron las siguientes concentraciones sobre las coordenadas de localización de estaciones de calidad del aire del SEVCA de CORPOCESAR, denominadas como receptores discretos.

Tabla 7. Concentraciones anuales sobre receptores discretos PM_{10}

ID	RESULTADOS MODELACIÓN - PM_{10} µg/m³	RESULTADOS CORPOCESAR - PM_{10} µg/m³
ZM01	35,98	39,84
ZM02	19,33	26,58
ZM03	54,94	31,43
ZM04	19,47	24,21
ZM05	21,91	21,60
ZM06	21,84	26,09
ZM09	19,57	32,49
ZM12	18,81	19,05
ZM13	42,35	36,77
ZM15	19,33	27,99
ZM19	19,32	32,06
ZM20	52,74	41,80
ZM21	18,62	23,01
ZM22	20,05	23,89

Fuente: ANLA - SIPTA, a partir del informe de modelación regional ZMCC. ANLA, 2024

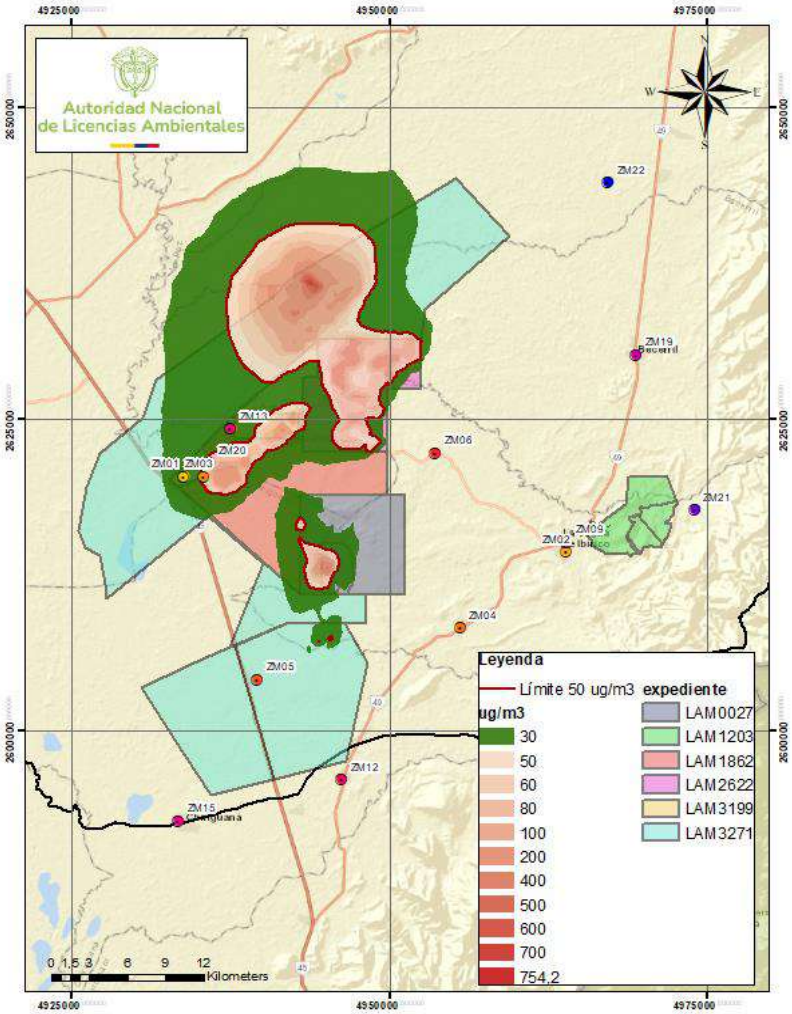
Tabla 8. Concentraciones anuales sobre receptores discretos $PM_{2.5}$

ID	RESULTADOS MODELACIÓN - $PM_{2.5}$ µg/m³	RESULTADOS CORPOCESAR - $PM_{2.5}$ µg/m³
ZM01	6,66	20,81
ZM02	4,40	No Obs
ZM03	9,27	8,3
ZM04	4,44	No Obs
ZM05	4,83	4,95
ZM06	4,76	5,06
ZM09	4,43	15,61
ZM12	4,34	4,65
ZM13	7,67	15,05
ZM15	4,43	No Obs
ZM19	4,41	No Obs
ZM20	7,21	15,58
ZM21	4,31	No Obs

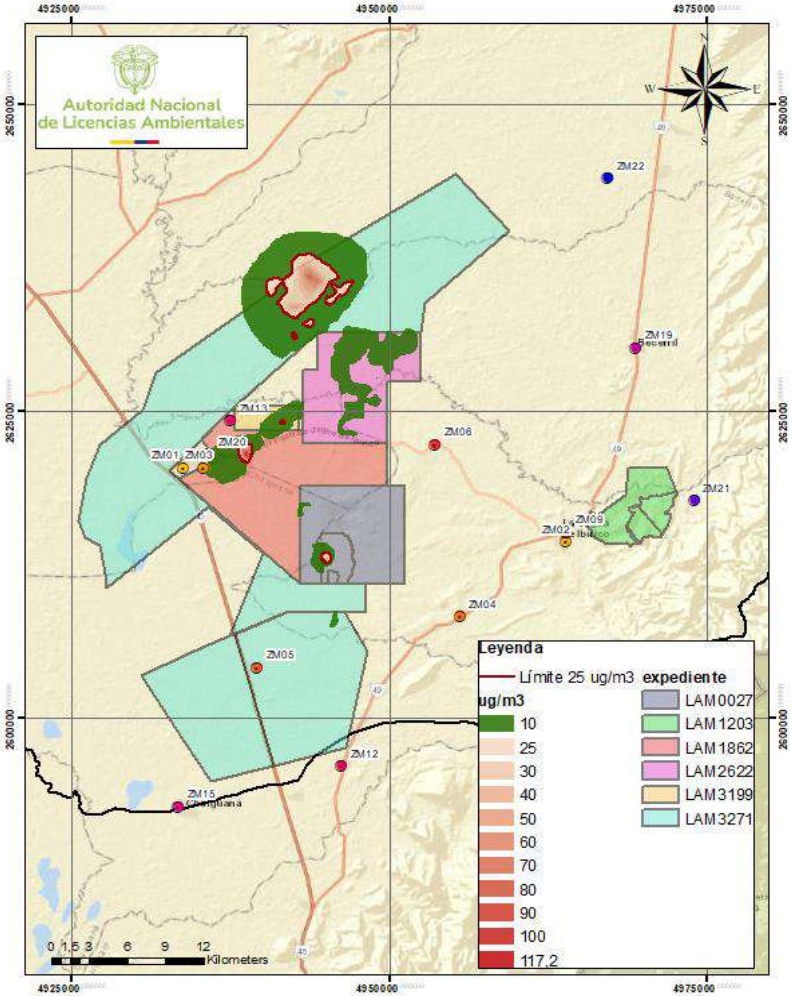
ID	RESULTADOS MODELACIÓN - $PM_{2.5}$ µg/m³	RESULTADOS CORPOCESAR - $PM_{2.5}$ µg/m³
ZM22	4,49	12,72

Fuente: ANLA - SIPTA, a partir del informe de modelación regional ZMCC. ANLA, 2024

Isopletas PM_{10} – Promedio Anual



Isopletas $PM_{2.5}$ – Promedio Anual



Fuente: ANLA - SIPTA, a partir del informe de modelación regional ZMCC. ANLA, 2024

Figura 25. Isopleta de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en tiempo de exposición anual para la ZMCC (año 2022).

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

Con la finalidad de conocer los aportes de la modelación sobre la Zona Minera del Cesar se toma como referencia las concentraciones obtenidas en el SEVCA de CORPOCESAR en el año 2022, donde se identifica:

- Para el contaminante PM_{10} las concentraciones obtenidas en los receptores oscilaron entre 18,62 µg/m^3 (ZM21) y 54.94 µg/m^3 (ZM03), indicando que los aportes incluida la concentración del fondo son de baja a media magnitud en comparación al límite permisible anual de 50 µg/m3 resaltando que la modelación en el punto más crítico presenta una excedencia de 4,94 µg/m^3 representando un 9% aproximadamente, sin embargo, este comportamiento se asocia a la incertidumbre de la información de entrada y limitaciones del modelo, toda vez que tal como se observa en la Tabla 7, muestran que los resultados obtenidos del monitoreo continuo que se realiza sobre este receptor esta sobre los 31,43 µg/m^3.
- Para el contaminante $PM_{2.5}$ las concentraciones obtenidas en los receptores oscilaron entre 4,31 µg/m^3 y 9,27 µg/m^3, indicando que los aportes incluida la concentración del fondo son de baja magnitud en comparación al límite permisible anual de 25 µg/m^3, indicando que estos resultados que, si bien presentan cumplimiento normativo, también se ve influenciado a los criterios mencionados para el contaminante PM_{10}.

Respecto a la evaluación de los resultados de la modelación con los resultados del SEVCA de CORPOCESAR presentan un error porcentual entre el 1,0% (PM_{10} – ZM12) 71,7% ($PM_{2.5}$ – ZM09); estos resultados indican que la modelación integrada de la ZMC se ajusta a las condiciones de inmisión de la red de monitoreo de calidad del aire y su variación se asocia a los aportes de fuentes externas no contempladas y la incertidumbre asociada a sus limitaciones de la información de entrada.

Adicionalmente, se identificó que las estaciones ZM03, ZM05, ZM13 y ZM20 presentan concentraciones en la modelación mayores a las concentraciones obtenidas en el SEVCA de CORPOCESAR con mayor magnitud para la estación ZM03 ubicada en el centro poblado de la Loma y se asocia a la representatividad espacial y temporal en contemplar información de entrada (por ejemplo, meteorología modelada WRF y topografía satelital SRTM1 con resolución 30 metros), criterio estadístico para determinar la concentración de fondo, limitaciones del modelo AERMOD, incertidumbre en las estaciones de calidad del aire que emplean equipos manuales, entre otros. No obstante, se presenta una desviación máxima de 23,54 µg/m^3 demostrando que es baja su variación y que el modelo se ajusta a las condiciones operativas de los del año 2022.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El análisis de las concentraciones de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ en el área de la Estrategia de la Zona Minera del Centro del Cesar, entre abril de 2007 y diciembre del 2023 para la información del SEVCA-ZMC CORPOCESAR y de 2023 para los proyectos con expedientes LAM0027, LAM2622 y LAM3271, evidenciaron que a nivel general los contaminantes se encuentran en cumplimiento normativo y el análisis realizado dio lugar a las siguientes conclusiones puntuales.
2. Se observó que las concentraciones más altas de material particulado asociadas a los parámetros PM_{10} y $PM_{2.5}$ se muestran en las estaciones de CORPOCESAR en temporada seca. Varias de las estaciones que registraron mayores concentraciones reportaron una tendencia a reducirlas entre los años 2019 a 2021. Sin embargo, en los años 2022 y 2023, las concentraciones de este contaminante están repuntando en algunas estaciones, sin llegar a incumplir los limites normativos. Esta situación puede estar relacionada con el retorno de las actividades antrópicas en la zona como el incremento del tráfico vial y las operaciones industriales.
3. En la mayoría de las estaciones de los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire Industrial de los proyectos con expedientes: LAM0027, LAM2622 y LAM3271, con datos disponibles de calidad del aire para el año 2023 se presentaron concentraciones bajas en comparación con los niveles máximos permisibles de la Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, para los parámetros PM_{10} y $PM_{2.5}$, especialmente para el último bimestre del año. Aun así, es evidente que estos proyectos solo tienen un año de análisis, por tanto, se requieren más datos para identificar tendencias en los resultados de estos Sistemas.
4. Los datos de PM_{10} en las estaciones y años analizados, en las medianas o percentiles 50 se encuentran por debajo del nivel máximo permisible de 75 $\mu g/m^3$, no obstante, si bien la tendencia general es de cumplimiento, se presentaron algunas excedencias en estaciones de monitoreo, especialmente en el Sistema Especial de Vigilancia de la Calidad del Aire de CORPOCESAR. Adicionalmente, solo la estación de monitoreo denominada MCA-LAM3271-CAI08 del proyecto LAM3271 registró datos esporádicos que superaron el estándar normativo.
5. Las excedencias identificadas de PM_{10} en datos diarios o a 24 horas se presentaron en varios años del periodo de análisis de las estaciones de la Corporación y en el año 2022 y para la estación MCA-LAM3271-CAI08 del expediente LAM3271. Se recomienda que en el seguimiento del proyecto se valide si las excedencias de la estación se continúan presentando o correspondían a situaciones atípicas, en caso de continuar este tipo de concentraciones se debe valorar la aplicación de medidas de reducción del material particulado en la zona aledaña a este punto de monitoreo.
6. Los resultados de los datos anuales del parámetro PM_{10} muestran cumplimiento normativo del estándar permisible de 50 $\mu g/m^3$, en los proyectos a cargo de la ANLA. Esto también sucedió, en la mayoría de las estaciones del Sistema Especial de Vigilancia de la Calidad del Aire (SEVCA) de CORPOCESAR, donde solo dos estaciones

superaron el límite anual en el año 2019, siendo el único año del periodo de análisis que se presentó esta situación.

7. Los resultados evidenciaron que el parámetro $PM_{2.5}$ presentó cumplimiento normativo de los niveles máximos permisibles a 24 horas de 37 µg/m^3 y anual de 25 µg/m^3, en los proyectos a cargo de la ANLA. Sin embargo, en el Sistema Especial de Vigilancia de la Calidad del Aire (SEVCA) de CORPOCESAR, la estación ZM01 Loma Centro, superó el límite anual en el año 2023 y algunas de sus estaciones superaron el límite diario de este parámetro, por tanto, en seguimientos posteriores se debe validar si estos datos diarios corresponden a valores atípicos o alguna situación específica de las estaciones, que amerite la implementación de medidas adicionales. Lo anterior, muestra la necesidad de continuar con la estrategia de monitoreo para continuar la recopilación de datos y consolidar la base de datos que confirmen la tendencia de la calidad del aire en la zona.
8. En las estaciones de monitoreo con tecnología automática de los proyectos con expedientes LAM0027 y LAM3271, se observó que los ciclos diarios de lunes a domingo tienden a ser heterogéneos presentando variaciones y registrando el domingo como el día con menores concentraciones de material particulado. Igualmente, las concentraciones horarias presentaron considerables variaciones entre las horas de la mañana y la tarde, con incrementos o valores pico en las horas de la tarde, después de 12:00 m, especialmente con el parámetro PM10, lo que evidencia una influencia de material grueso relacionada con la resuspensión del material en vías y zonas escarpadas o actividades industriales que lo generen. Lo anterior, evidenció una menor presencia de material particulado fino que está asociado a la quema de combustibles fósiles, puesto que el parámetro PM2.5 presentó un comportamiento más homogéneo en todos los análisis temporales realizados.
9. El comportamiento del viento en el área es variado, para su análisis se generaron diez (10) rosas de viento para el año 2023. Al norte del área de estudio las dos (2) rosas presentan una tendencia similar de dirección del viento hacia el suroeste. Por otro lado, las tres (3) rosas generadas al sur del área de la estrategia presentan una tendencia con dirección predominante al noreste. Finalmente, las cinco (5) rosas de vientos ubicadas en el en el centro del área del reporte presentan un predominio de dirección del viento hacia el noreste.
10. Los análisis de las tendencias de las concentraciones por hora del día y según la dirección del viento permiten evidenciar de manera general que se presentan concentraciones bajas de PM_{10} y $PM_{2.5}$, desde todas las direcciones en horas de la madrugada y de la mañana de 0 a las 8 horas. A partir de las 8 de la mañana se presentan incrementos de las concentraciones de los contaminantes. Por otro lado, el comportamiento de las concertaciones del material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$), evidencia que existe el aporte de fuentes lejanas a estas, en un rango de velocidad >5 m/s, lo cual permite inferir que el resultado de los monitoreos corresponde a la inmisión de áreas tanto cercanas a los puntos de monitoreo como lejanas, en donde

las grandes áreas de las actividades mineras pueden influir en la calidad de aire de manera regional.

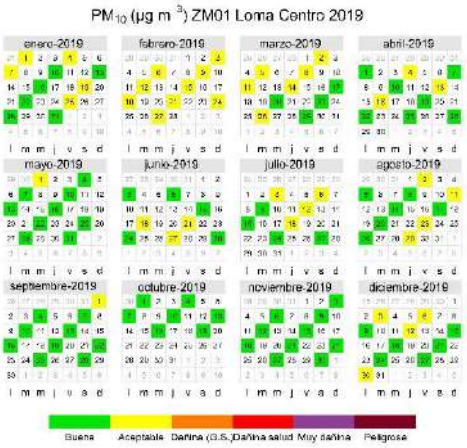
11. Respecto al Índice de Calidad del Aire (ICA) de PM_{10}, se identificó que, la mayoría de los registros en 2023, para los tres (3) expedientes se presentó un comportamiento cuyas concentraciones se categorizan como "Buena", y datos esporádicos en la categoría "Aceptable".
12. Frente al ICA de $PM_{2.5}$, se observó un comportamiento cuyas concentraciones se enmarcan en la categoría "Aceptable" para la mayoría de los registros evaluados para el primer semestre de 2023 y para el segundo semestre como "Buena".
13. Respecto de los resultados del ICA del SEVCA de CORPOCESAR, para el material particulado $PM_{2.5}$ para el 2023, en promedio el 35% de los registros presentaron una categoría "Buena" del índice de la calidad del aire, 63% como "Aceptable" y 2% como "Dañina a la salud de grupos sensibles", lo que muestra que el $PM_{2.5}$ tiene un mayor potencial de afectación a la salud respecto al PM_{10}.
14. Respecto a la modelación de dispersión de contaminantes atmosféricos, en términos generales, se muestra una mayor sensibilidad en el sector norte y norte sobre las minas El Hatillo, La Francia, El Descanso, Similoa y Rincon Hondo donde se establecen los mayores aportes, asimismo, sobre los aportes del SEVCA los resultados se encuentra, para la mayoría de los receptores sensibles, sobre el mismo orden de magnitud reflejando cumplimiento normativo y que sus variaciones se deben a que no se cuentan con el inventario total de emisiones, incertidumbre en los datos de entrada y limitaciones del modelo.
15. Es importante establecer que los resultados de la modelación soportan la ubicación de las estaciones establecidas en la estrategia de monitoreo de la ANLA sobre la ZMC debido que localizan en áreas con aportes significados por expediente y en entornos con baja influencia de aportes atmosféricos.

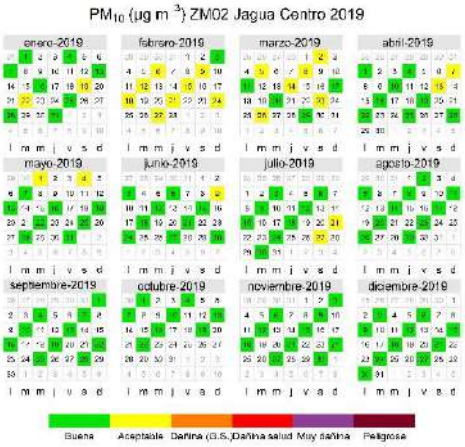
Finalmente, para el desarrollo de las siguientes versiones de esta modelación se recomienda contemplar:

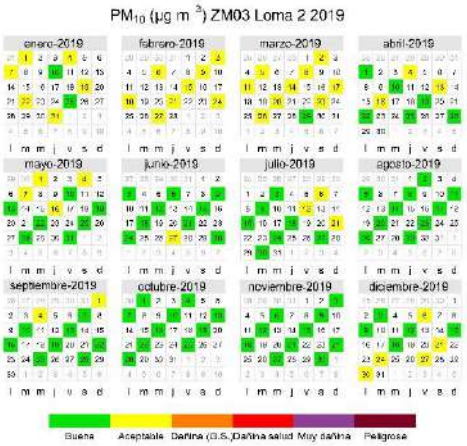
a. Contemplar condiciones de terreno que se ajusten a la topografía de las minas para representar de forma de representativa el fenómeno de dispersión.
b. Referente al inventario de emisiones, se establece que los expedientes integran sus medidas de manejo y control de emisiones atmosféricas las cuales deben mantener para garantizar que el nivel de inmisión sea bajo como se identificó en esta modelación y se refleja en el SEVCA de CORPOCESAR.
c. Incluir para los siguientes años las estaciones de la estrategia de monitoreo de la ANLA para la ZMC con la finalidad de analizar sus aportes y evaluar la efectividad del PM_{10} por cada expediente.

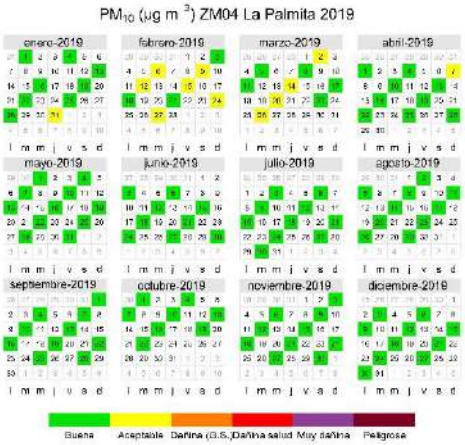
4. ANEXO: ÍNDICES DE CALIDAD DEL AIRE

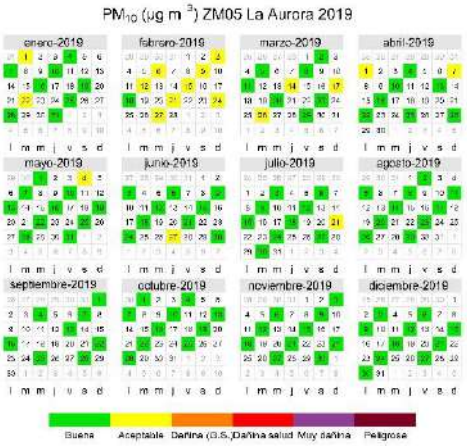
- SEVCA ZMC – CORPOCESAR: PM10 (2019-2022)

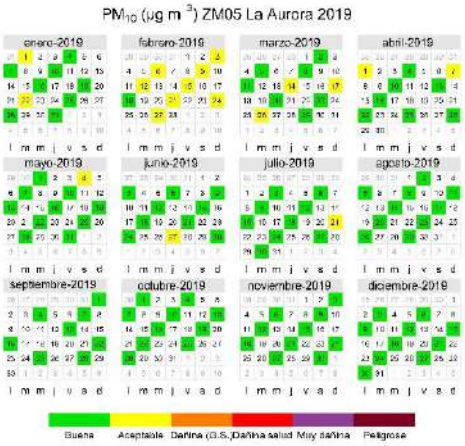




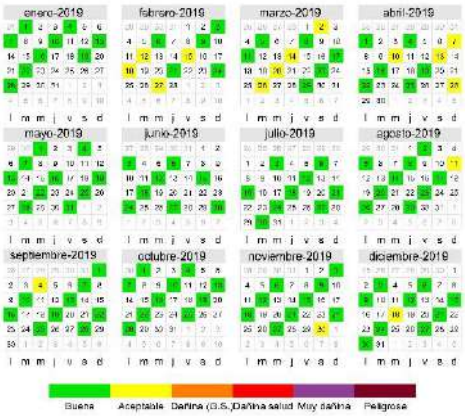




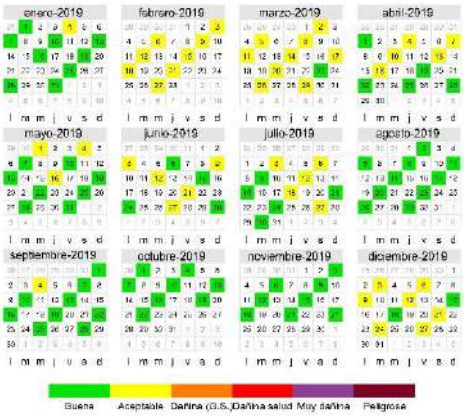




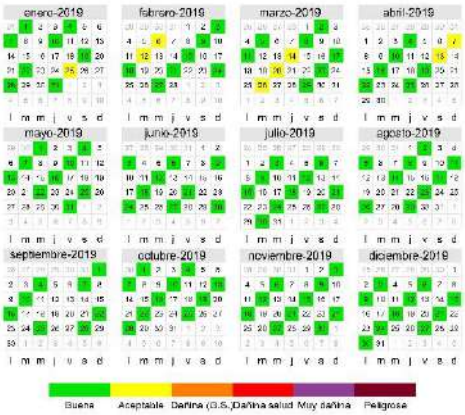
PM$_{10}$ (µg m^{-3}) ZM06 Boquerón 2019



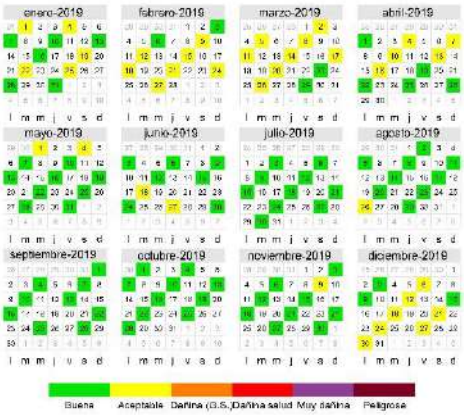
PM$_{10}$ (µg m^{-3}) ZM09 Jagua Vía 2019



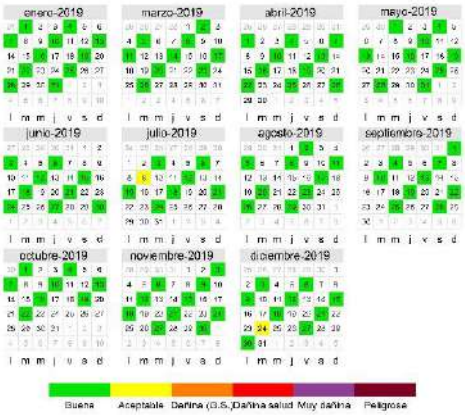
PM$_{10}$ (µg m^{-3}) ZM12 Rincon Hondo 2019



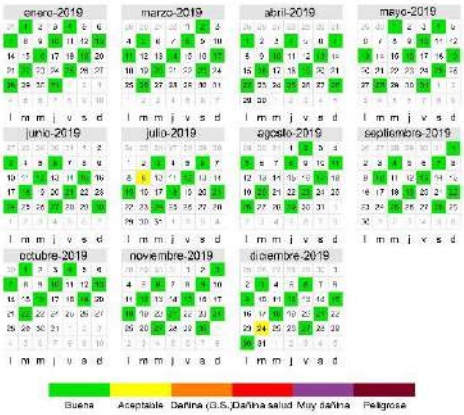
PM$_{10}$ (µg m^{-3}) ZM13 El Hatillo 2019

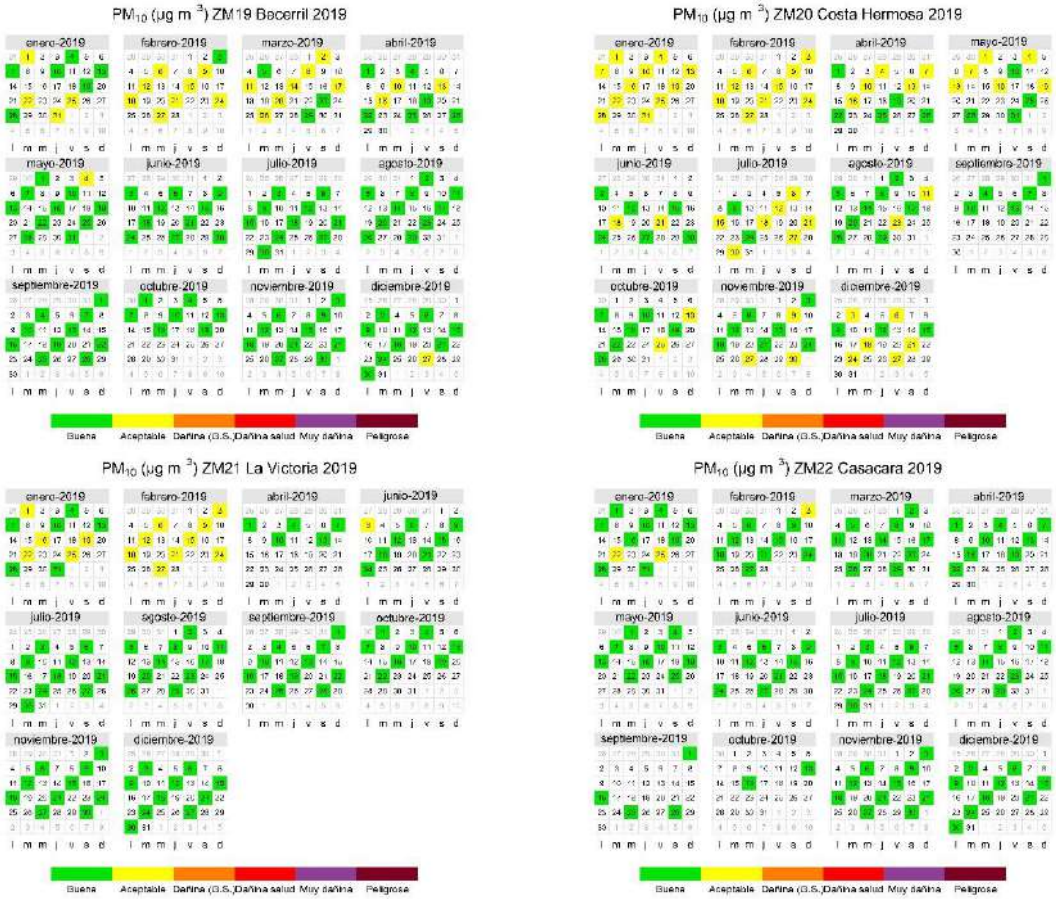


PM$_{10}$ (µg m^{-3}) ZM15 Chiriguana 2019



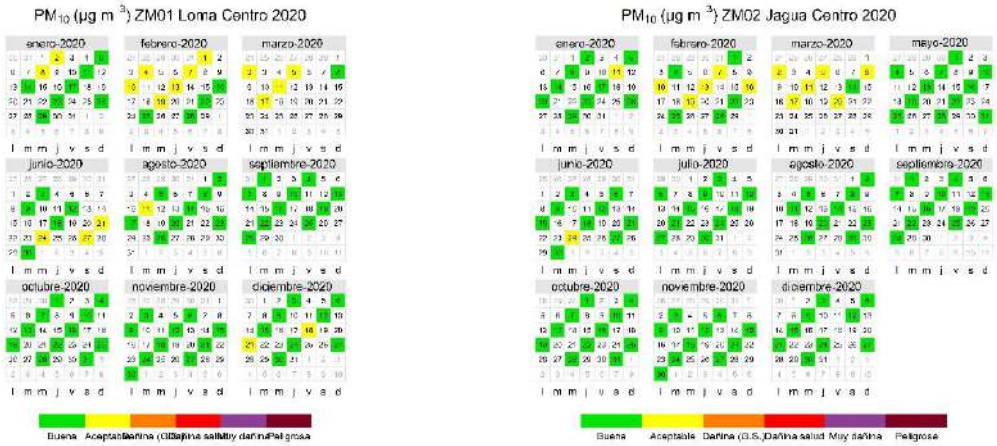
PM$_{10}$ (µg m^{-3}) ZM15 Chiriguana 2019



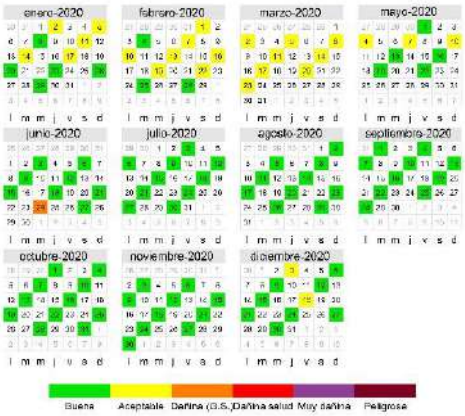


Fuente: ANLA – SIPTA, a partir de los datos del SEVCA ZMC CORPOCESAR en SISAIRE, 2024

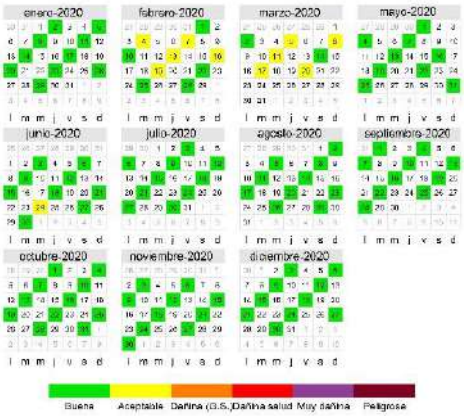
Figura 26. Índices de calidad del aire de 2019 ICA PM_{10} – SEVCA ZMC CORPOCESAR



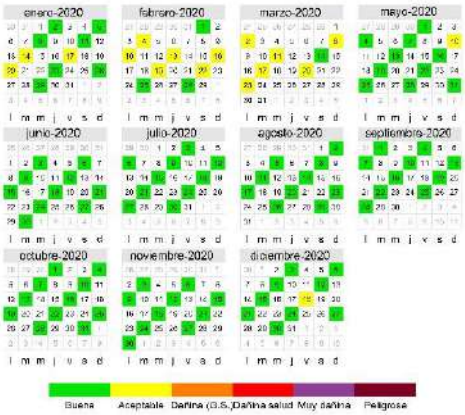
PM_{10} (µg m $^{-3}$) ZM03 Loma 2 2020



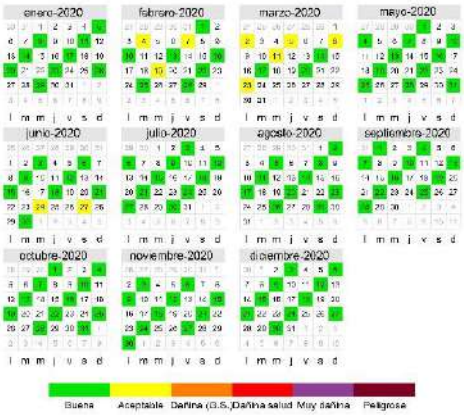
PM_{10} (µg m $^{-3}$) ZM04 La Palmita 2020



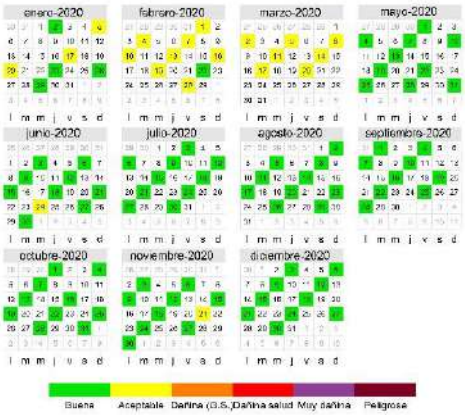
PM_{10} (µg m $^{-3}$) ZM05 La Aurora 2020



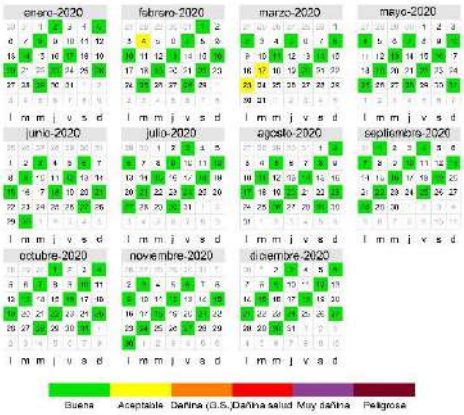
PM_{10} (µg m $^{-3}$) ZM06 Boquerón 2020

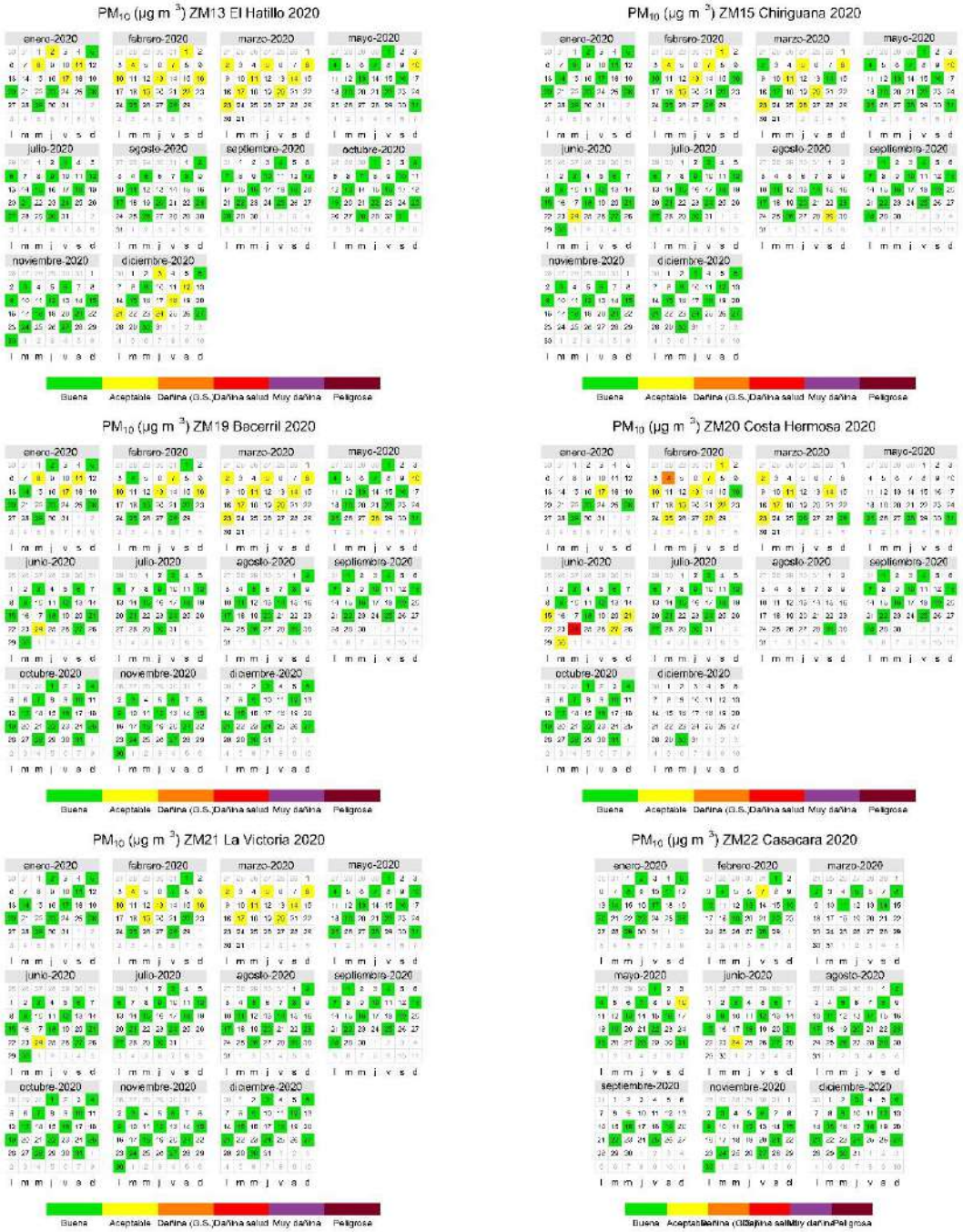


PM_{10} (µg m $^{-3}$) ZM09 Jagua Vía 2020



PM_{10} (µg m $^{-3}$) ZM12 Rincon Hondo 2020

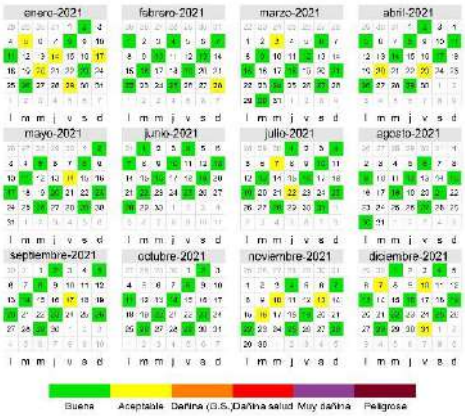




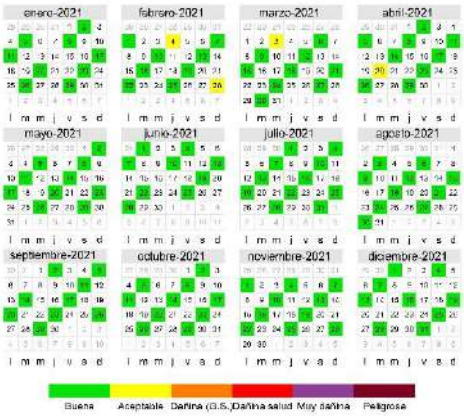
Fuente: ANLA – SIPTA, a partir de los datos del SEVCA ZMC CORPOCESAR en SISAIRE, 2024

Figura 27. Índices de calidad del aire de 2020 ICA PM_{10} – SEVCA ZMC CORPOCESAR

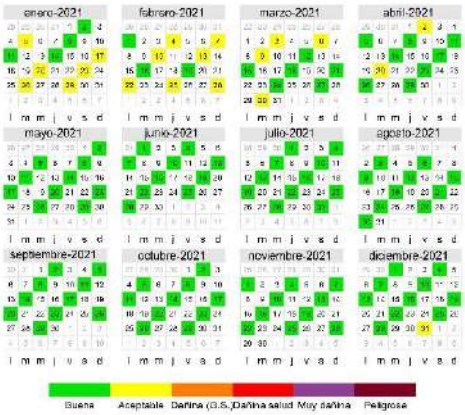
PM$_{10}$ (µg m^{-3}) ZM01 Loma Centro 2021



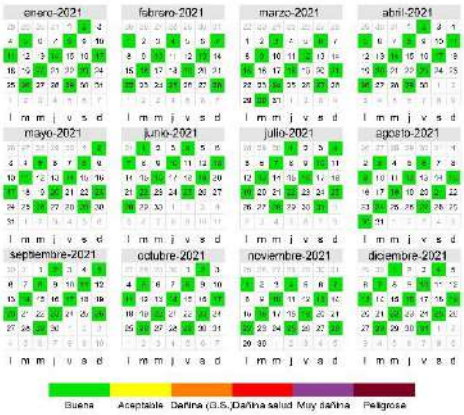
PM$_{10}$ (µg m^{-3}) ZM02 Jagua Centro 2021



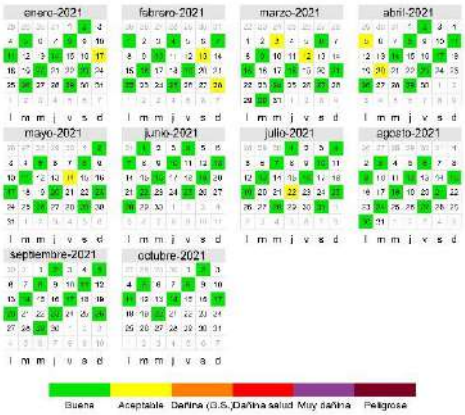
PM$_{10}$ (µg m^{-3}) ZM03 Loma 2 2021



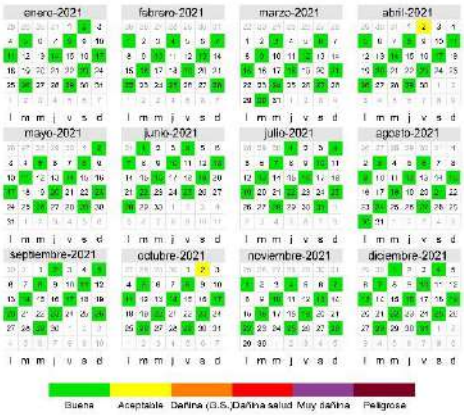
PM$_{10}$ (µg m^{-3}) ZM04 La Palmita 2021



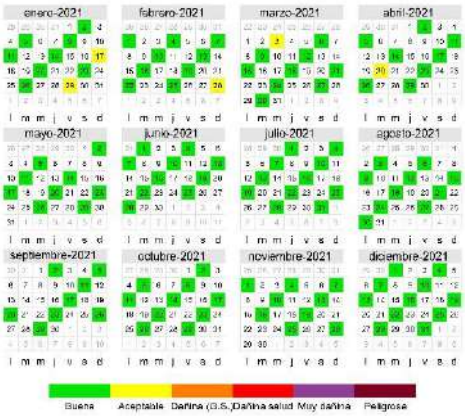
PM$_{10}$ (µg m^{-3}) ZM05 La Aurora 2021



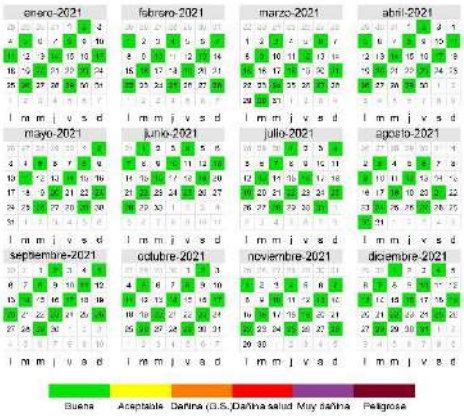
PM$_{10}$ (µg m^{-3}) ZM06 Boquerón 2021



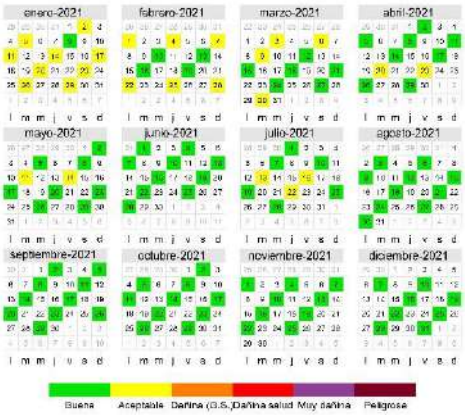
PM$_{10}$ (µg m^{-3}) ZM09 Jagua Vía 2021



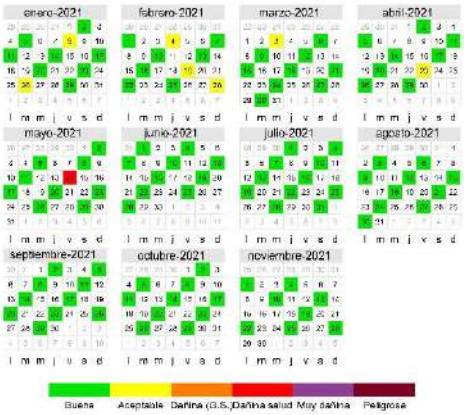
PM$_{10}$ (µg m^{-3}) ZM12 Rincon Hondo 2021



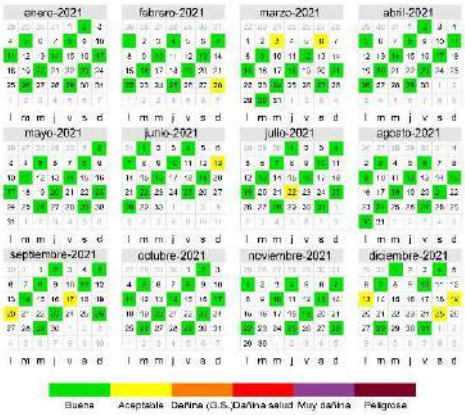
PM$_{10}$ (µg m^{-3}) ZM13 El Hatillo 2021



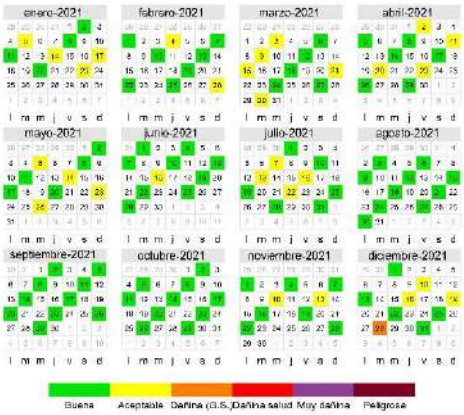
PM$_{10}$ (µg m^{-3}) ZM15 Chiriguana 2021

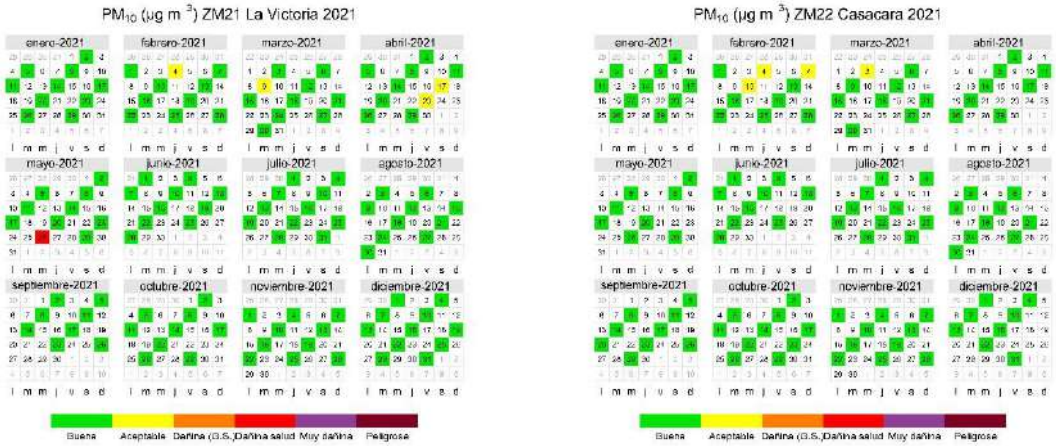


PM$_{10}$ (µg m^{-3}) ZM19 Becerril 2021



PM$_{10}$ (µg m^{-3}) ZM20 Costa Hermosa 2021

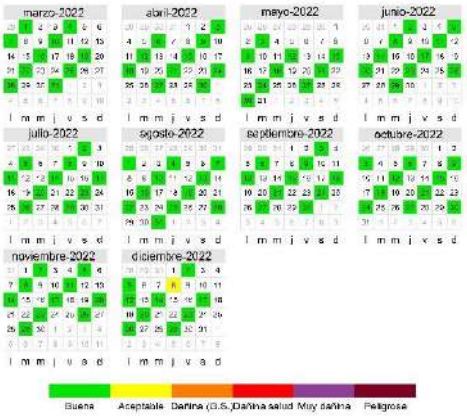




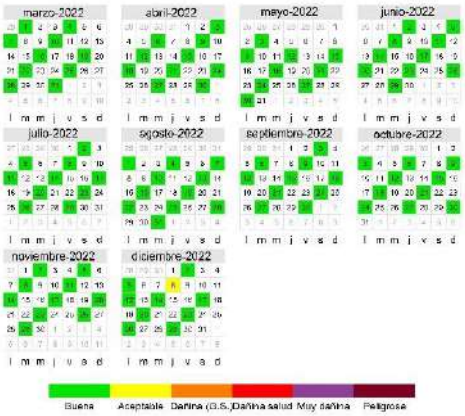
Fuente: ANLA – SIPTA, a partir de los datos del SEVCA ZMC CORPOCESAR en SISAIRE, 2024

Figura 28. Índices de calidad del aire de 2021 ICA PM_{10} – SEVCA ZMC CORPOCESAR

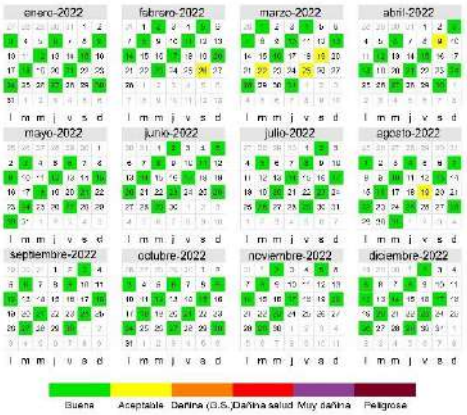
PM$_{10}$ (µg m^{-3}) ZM05 La Aurora 2022



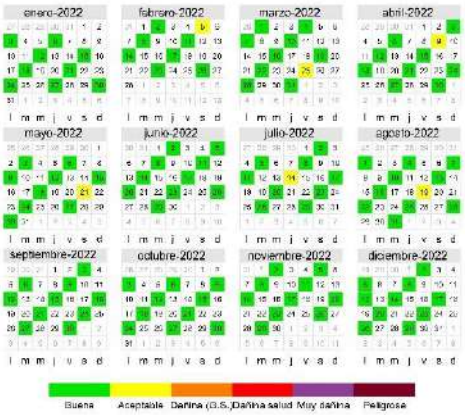
PM$_{10}$ (µg m^{-3}) ZM05 La Aurora 2022



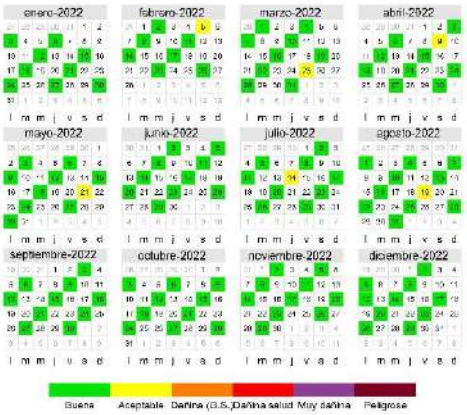
PM$_{10}$ (µg m^{-3}) ZM06 Boquerón 2022



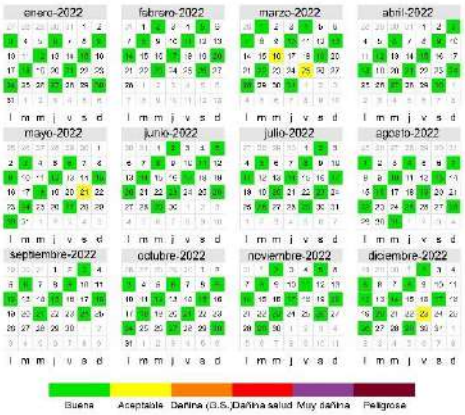
PM$_{10}$ (µg m^{-3}) ZM09 Jagua Vía 2022



PM$_{10}$ (µg m^{-3}) ZM09 Jagua Vía 2022



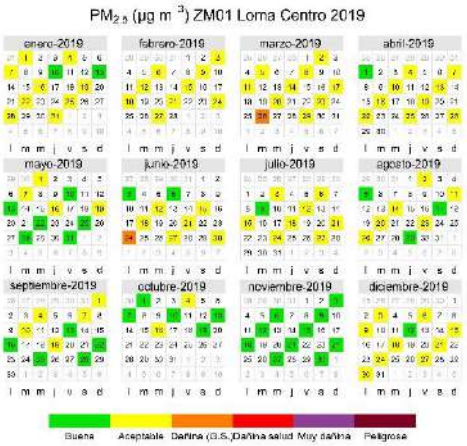
PM$_{10}$ (µg m^{-3}) ZM12 Rincon Hondo 2022

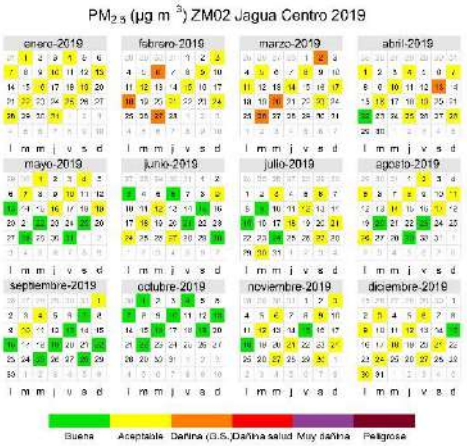


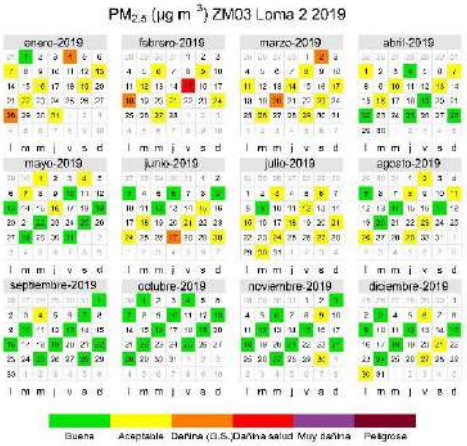
Fuente: ANLA – SIPTA, a partir de los datos del SEVCA ZMC CORPOCESAR en SISAIRE, 2024

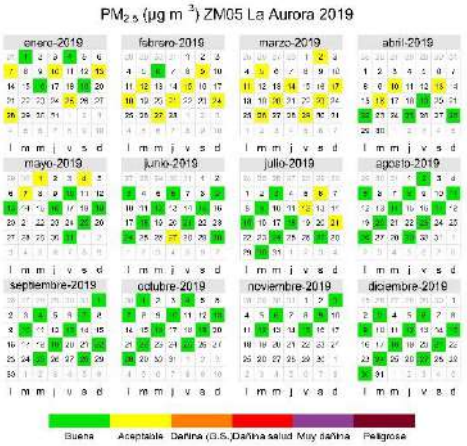
Figura 29. Índices de calidad del aire de 2022 ICA PM_{10} – SEVCA ZMC CORPOCESAR

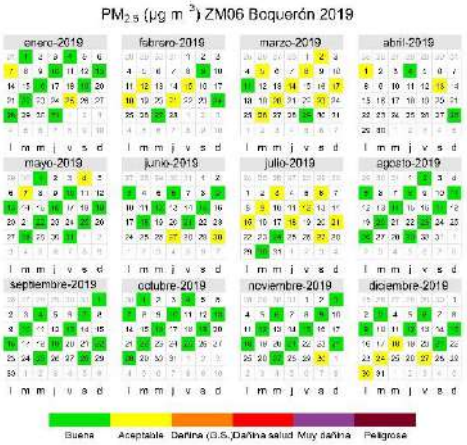
- SEVCA ZMC – CORPOCESAR: $PM_{2.5}$ (2019-2022)

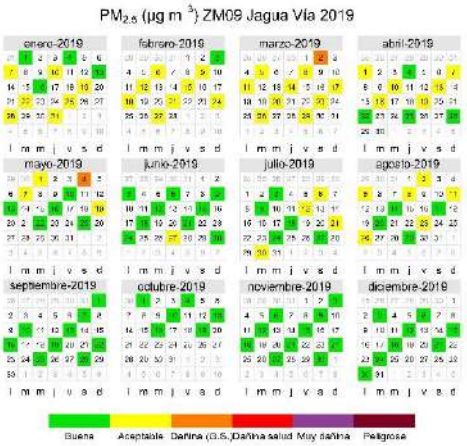










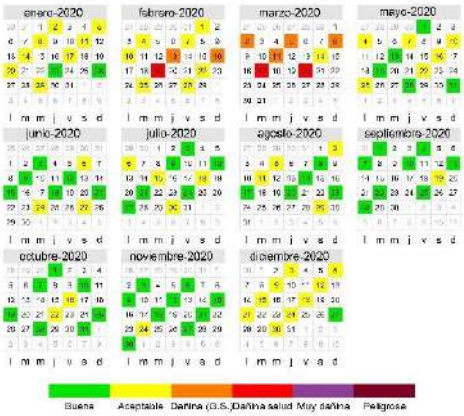


Fuente: ANLA – SIPTA, a partir de los datos del SEVCA ZMC CORPOCESAR en SISAIRE, 2024

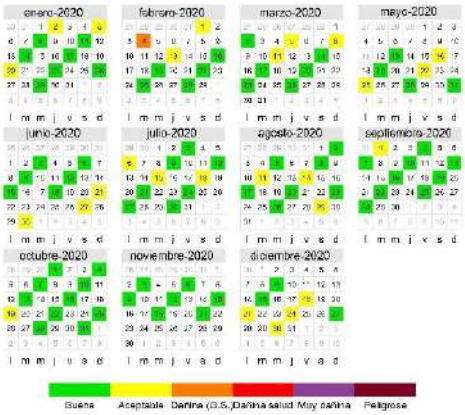
Figura 30. Índices de calidad del aire de 2019 ICA $PM_{2.5}$ – SEVCA ZMC CORPOCESAR

PM$_{2.5}$ (µg m^{-3}) ZM01 Loma Centro 2020

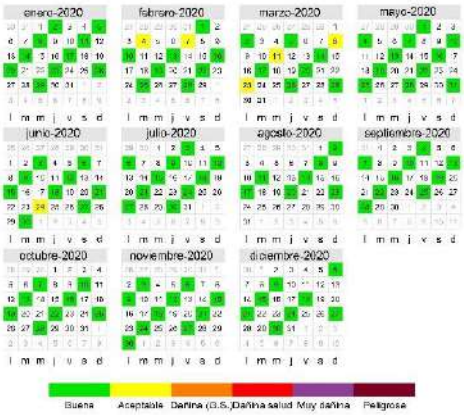
PM$_{2.5}$ (µg m^{-3}) ZM02 Jagua Centro 2020



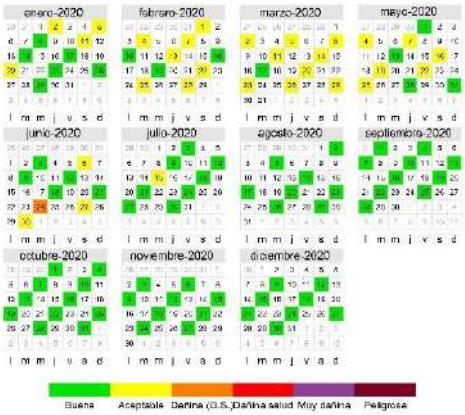
PM$_{2.5}$ (µg m^{-3}) ZM03 Loma 2 2020



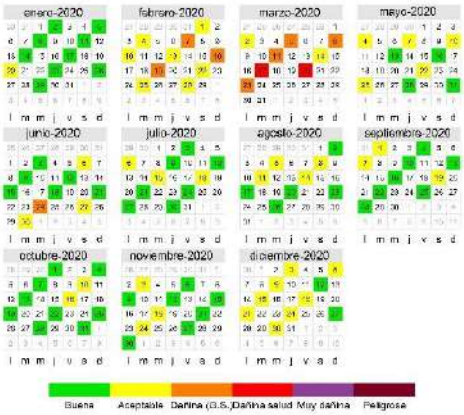
PM$_{2.5}$ (µg m^{-3}) ZM05 La Aurora 2020



PM$_{2.5}$ (µg m^{-3}) ZM06 Boquerón 2020



PM$_{2.5}$ (µg m^{-3}) ZM09 Jagua Vía 2020



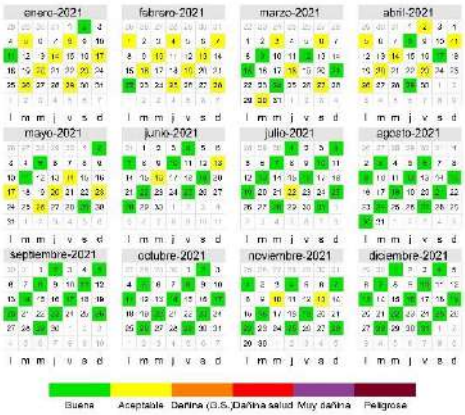
Fuente: ANLA – SIPTA, a partir de los datos del SEVCA ZMC CORPOCESAR en SISAIRE, 2024

Figura 31. Índices de calidad del aire de 2020 ICA $PM_{2.5}$ – SEVCA ZMC CORPOCESAR

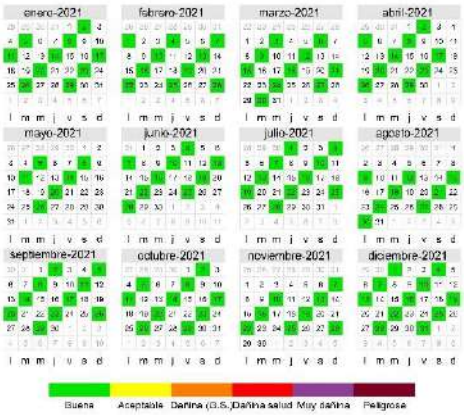
PM$_{2.5}$ (µg m^{-3}) ZM01 Loma Centro 2021

PM$_{2.5}$ (µg m^{-3}) ZM02 Jagua Centro 2021

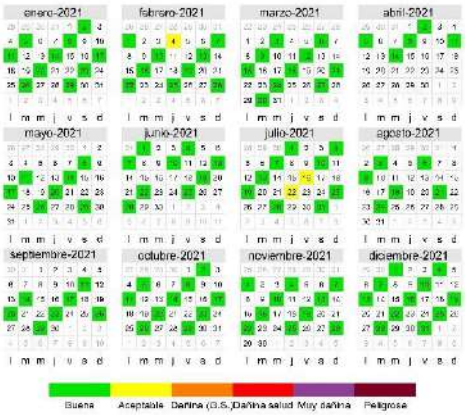
PM$_{2.5}$ (µg m^{-3}) ZM03 Loma 2 2021



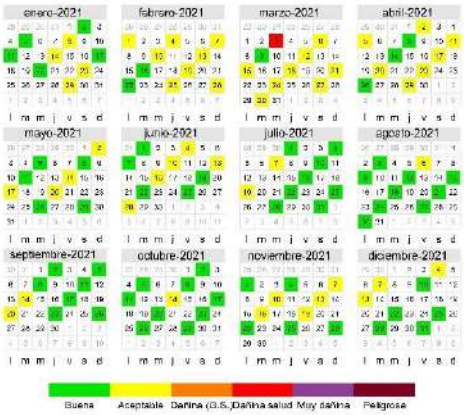
PM$_{2.5}$ (µg m^{-3}) ZM05 La Aurora 2021

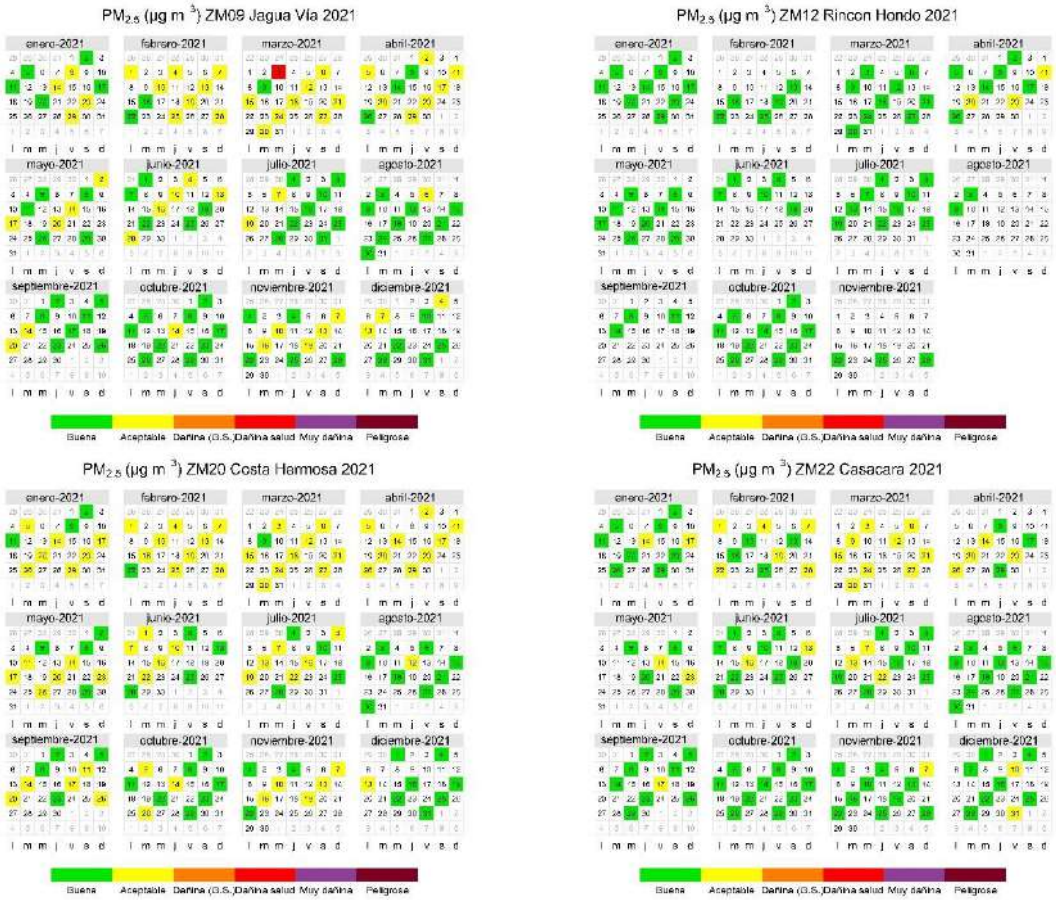


PM$_{2.5}$ (µg m^{-3}) ZM06 Boquerón 2021



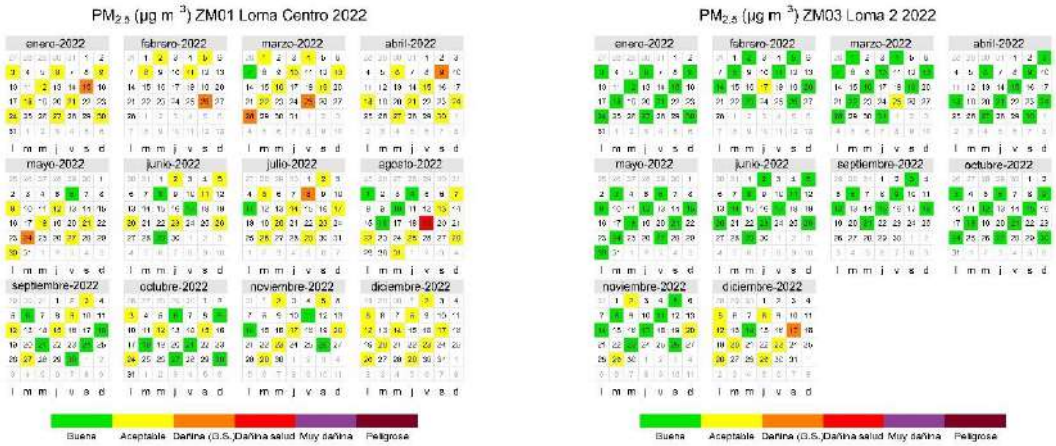
PM$_{2.5}$ (µg m^{-3}) ZM09 Jagua Vía 2021



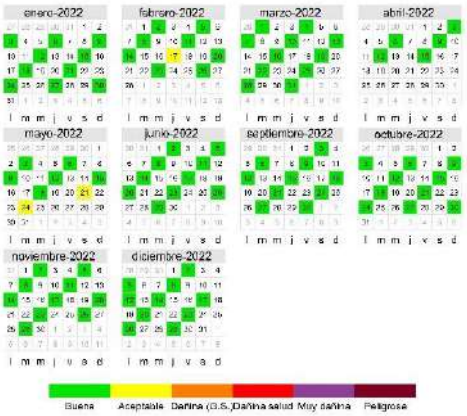


Fuente: ANLA – SIPTA, a partir de los datos del SEVCA ZMC CORPOCESAR en SISAIRE, 2024

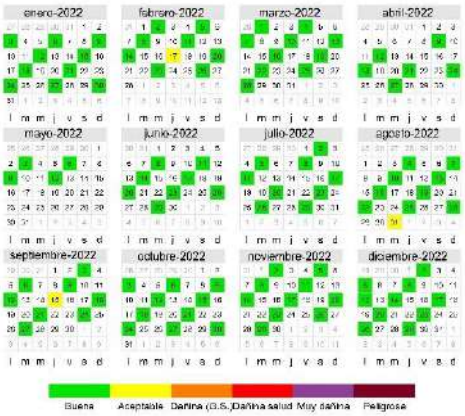
Figura 32. Índices de calidad del aire de 2021 ICA $PM_{2.5}$ – SEVCA ZMC CORPOCESAR



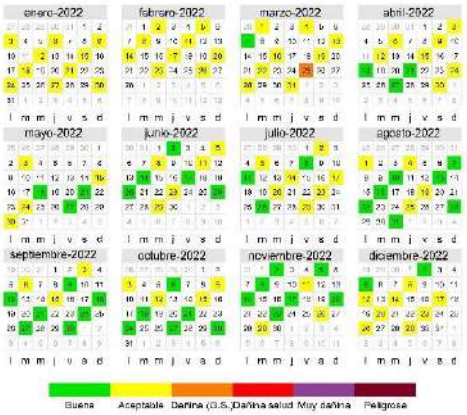
$PM_{2.5}$ (µg m ^{3}) ZM05 La Aurora 2022



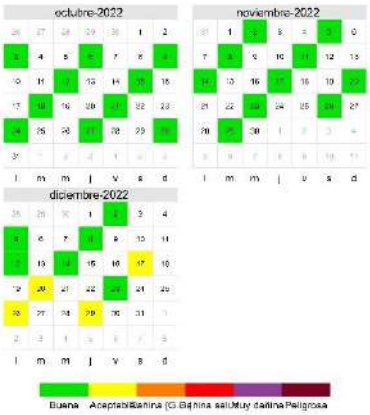
$PM_{2.5}$ (µg m ^{3}) ZM06 Boquerón 2022



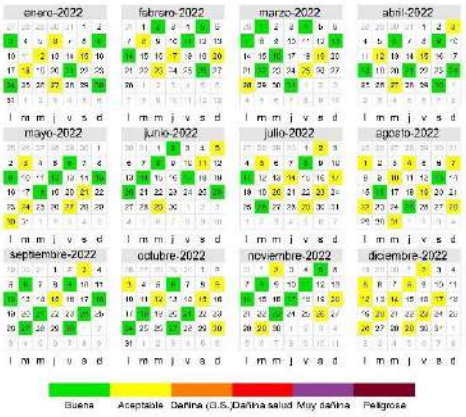
$PM_{2.5}$ (µg m ^{3}) ZM09 Jagua Vía 2022

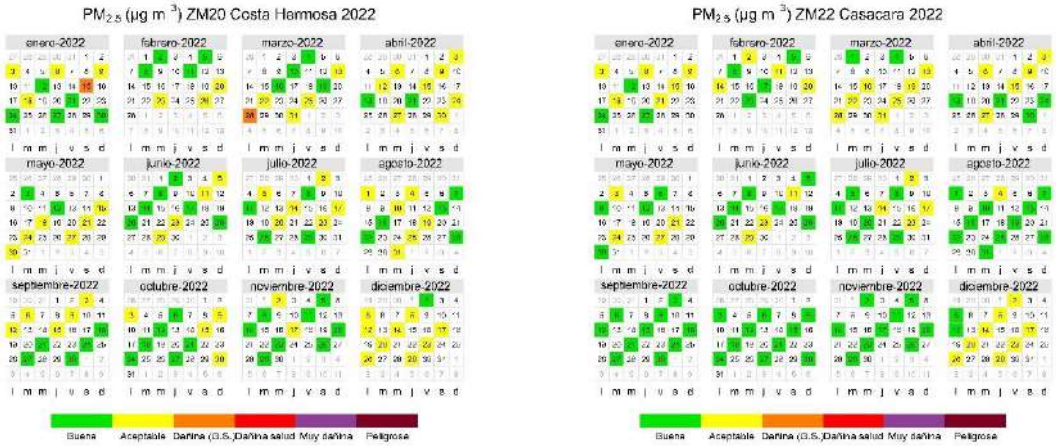


$PM_{2.5}$ (µg m ^{3}) ZM12 Rincon Hondo 2022



$PM_{2.5}$ (µg m ^{3}) ZM13 El Hatillo 2022





Fuente: ANLA – SIPTA, a partir de los datos del SEVCA ZMC CORPOCESAR en SISAIRE, 2024

Figura 33. Índices de calidad del aire de 2022 ICA $PM_{2.5}$ – SEVCA ZMC CORPOCESAR

5. BIBLIOGRAFIA

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

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

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