



Ambiente



Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

Informe del estado de la
Calidad del Aire
en Colombia

20
22



GUSTAVO FRANCISCO PETRO URREGO
Presidente de la República de Colombia

FRANCIA ELENA MÁRQUEZ MINA
Vicepresidenta de Colombia

MARÍA SUSANA MUHAMAD GONZÁLEZ
Ministra de Ambiente y Desarrollo Sostenible

MAURICIO CABRERA LEAL
Viceministro de Políticas y Normalización Ambiental

LILIA TATIANA ROA AVENDAÑO
Viceministra de Ordenamiento Ambiental del Territorio

Consejo Directivo

MARÍA SUSANA MUHAMAD GONZÁLEZ
Ministra de Ambiente y Desarrollo Sostenible

FRANCISCO JAVIER CANAL ALBÁN
Viceministro de Ordenamiento Ambiental del Territorio

NÉSTOR ROBERTO GARZÓN CADENA
Director de Cambio Climático y Gestión del Riesgo (e)

FERNNEY CAMACHO
Director de Infraestructura - Ministerio de Transporte

PAOLA RICAURTE AYALA
Asesora de la Dirección de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Departamento Nacional de Planeación (DNP)

SANDRA LILIANA MORENO MAYORGA
Directora de la Dirección Técnica Geoestadística - Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)

HECNEY ALEXCEVITH ACOSTA
Director general - Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS)

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Ideam

GHISLIANE ECHEVERRY PRIETO
Directora general

JUAN FERNANDO ACOSTA MIRKOW
Secretario general

FABIO ANDRÉS BERNAL QUIROGA
Subdirector de Hidrología

ELIZABETH PATIÑO CORREA
Subdirectora de Estudios Ambientales

LINA MARÍA CABALLERO VILLALOBOS
Subdirectora de Ecosistemas e Información Ambiental

TC. JORGE GIOVANNI JIMÉNEZ SÁNCHEZ
Subdirector de Meteorología

ÍNGRID TATIANA SIERRA GIRALDO
Jefe de la Oficina del Servicio de Pronóstico y Alertas

CÉSAR AUGUSTO SÁNCHEZ WALDRON
Jefe de la Oficina Asesora de Planeación

WILMER ESPITIA MUÑOZ
Jefe de la Oficina de Informática

GILBERTO ANTONIO RAMOS SUÁREZ
Jefe de la Oficina Asesora Jurídica

MARÍA EUGENIA PATIÑO JURADO
Jefe de la Oficina de Control Interno

Subdirección de Estudios Ambientales

ELIZABETH PATIÑO CORREA
Subdirectora de Estudios Ambientales

Coordinación técnica

ANA MARÍA HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ
Coordinadora del Grupo de Seguimiento a la Sostenibilidad del Desarrollo

Producción técnica

SIMÓN GRUESO CASQUETE
ANA MARÍA HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ
ÁNGELA VANESA GALVIS LOZANO
ZAIRA NATALIA TORRES CASTRO
Grupo de Seguimiento a la Sostenibilidad del Desarrollo

Apoyo técnico

WENDI YURANI GARZÓN HERRERA
JORGE MENDOZA RUIZ
Grupo de Seguimiento a la Sostenibilidad del Desarrollo

Producción y gestión editoriales

ANDRÉS FELIPE TAPIERO RÍOS
Grupo de Comunicaciones y Prensa

Asistencia editorial

SEBASTIÁN URIBE RODRÍGUEZ
Grupo de Comunicaciones y Prensa

Asistencia gráfica

LUISA FERNANDA RODRÍGUEZ ARIAS
Grupo de Comunicaciones y Prensa

Corrección de estilo

PAOLA ANDREA SÁNCHEZ

Diseño editorial y diagramación

Target Document S. A. S. - ODT 1373 - 2024 para Swisscontact, en el marco del programa Calac+, financiado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (Cosude).

Cítese como:

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Ideam. (2024). *Informe del estado de la calidad del aire en Colombia 2022*. Ideam.

ISSN

2619-2403 (En línea)

Publicación aprobada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Ideam.

Diciembre del 2023, Bogotá, D. C., Colombia.

Distribución gratuita.

Todos los derechos reservados. Los textos pueden ser usados parcial o totalmente citando la fuente. Su reproducción total o parcial debe ser autorizada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Ideam.

© Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Ideam.

CONTENIDO

Agradecimientos.....	7	
Prólogo	8	
Resumen Ejecutivo.....	9	
1. CONTEXTO	10	
1.1. Calidad del Aire y Cambio Climático.....	11	
1.1.1. Conceptos clave calidad del aire y cambio climático.....	11	
1.2. Gobernanza de la calidad del aire	14	
1.2.1. Modelo de gobernanza en Colombia	14	
1.2.2. Retos y oportunidades de las imágenes satelitales como método de gobernanza del aire en Colombia, caso material particulado	16	
1.2.3. Análisis espacial de la calidad del aire en Colombia por medio de reanálisis e información satelital.....	19	
1.2.3.1. Datos y método.....	19	
1.2.3.1.1. Datos (CAMS, Tropomi, Modis hotspots).....	19	
1.2.3.1.2. Análisis de magnitudes y anomalías de los contaminantes criterio.....	19	
1.2.3.2. Resultados y discusión.....	20	
1.2.3.2.1. Concentración, anomalías y sus fuentes.....	20	
1.2.3.3. Conclusiones.....	22	
1.2.4. Línea Base de trazadores de quemas de biomasa en el PM _{2.5} Valle de Aburrá, 2020.....	23	
1.3. Normatividad sobre contaminación atmosférica.....	24	
1.4. El rol del Ideam en la gestión de la calidad del aire	27	
1.5. Normatividad aplicable	28	
1.5.1. Resolución 2254 de 2017.....	28	
2. METODOLOGÍA	30	
3. ESTADO DE LOS SISTEMAS DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE	32	
3.1. Evolución de los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire.....	35	
3.1.1. Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire, estaciones de monitoreo y registros en Sisaire	35	
3.1.2. Tecnologías de monitoreo empleadas.....	36	
3.1.3. Contaminantes evaluados	37	
3.2. Requerimientos de los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire -SVCA-	39	
3.2.1. Requerimientos de los SVCA de acuerdo con el tamaño de la población	39	
3.2.2. Requerimientos de acreditación de los SVCA	41	
4. ESTADO DE LA CALIDAD DEL AIRE NACIONAL	42	
4.1. Material particulado menor a 10 micras - PM ₁₀	44	
4.1.1. Concentraciones promedio anuales	44	
4.1.2. Tendencia multianual 2011-2022	46	
4.1.3. Excedencias al nivel máximo permisible diario	47	
4.1.4. Índice de calidad del aire	48	
4.1.5. Concentraciones promedio anuales - indicativas	50	
4.2. Material particulado menor a 2,5 micras - PM _{2,5}	51	
4.2.1. Concentraciones promedio anuales	51	
4.2.2. Tendencia multianual 2011-2022	53	
4.2.3. Excedencias al nivel máximo permisible diario	54	
4.2.4. Índice de calidad del aire	55	
4.2.5. Concentraciones promedio anuales - indicativas	57	
4.3. Dióxido de Nitrógeno - NO ₂	58	
4.3.1. Concentraciones promedio anuales	58	
4.3.2. Excedencias al nivel máximo permisible horario	60	
4.3.3. Índice de calidad del aire	60	
4.3.4. Concentraciones promedio anuales - indicativas	61	
4.4. Dióxido de Azufre - SO ₂	62	
4.4.1. Concentraciones promedio anuales	62	
4.4.2. Excedencias al nivel máximo permisible horario	63	
4.4.3. Índice de calidad del aire	64	
4.4.4. Concentraciones promedio anuales - indicativas	65	
4.5. Ozono troposférico - O ₃	66	
4.5.1. Concentraciones promedio anuales	66	
4.5.2. Excedencias al nivel máximo permisible octohorario	67	
4.5.3. Índice de calidad del aire	68	
4.5.4. Concentraciones promedio anuales - indicativas	69	
4.6. Monóxido de Carbono - CO	70	
4.6.1. Concentraciones promedio anuales	70	
4.6.2. Excedencias al nivel máximo permisible octohorario	71	
4.6.3. Índice de calidad del aire	71	
4.6.4. Concentraciones promedio anuales - indicativas	72	
5. ESTADO DE LA CALIDAD DEL AIRE REGIONAL	73	
6. EVALUACIÓN DE LOS INDICADORES DE SEGUIMIENTO	100	
6.1. Descripción de los indicadores de seguimiento	101	
6.2. Resultados de los indicadores de seguimiento	103	
7. METEOROLOGÍA	107	
7.1. Comportamiento de los indicadores climatológicos	109	
7.1.1. Comportamiento de la anomalía anual de la temperatura media	109	
7.1.2. Comportamiento del índice de precipitación anual	111	
7.1.3. Análisis de la anomalía mensual de la temperatura media	113	
7.1.4. Análisis del índice de precipitación mensual	114	
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	115	
8.1. Monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, año 2022	116	
8.2. Estado de la calidad del aire año 2022	117	
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119	
10. ANEXOS	123	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Porcentaje de avance del país respecto a los ODS.....	8	Figura 10. Anomalías de concentración entre el promedio anual de 2022 con el promedio multianual del periodo 2019-2021 en $1e^{-3}$ mol m^{-2} para el NO_2 en cada temporada del año, (a) DEF, (b) MAM, (c) JJA y (d) SON.....	21	Figura 22. Municipios que requieren implementar o mejorar los SVCA de acuerdo con el tamaño de su población, año 2022	39	Figura 32. Concentraciones anuales de material particulado menor a 2,5 micras – estaciones no representativas, año 2022	69
Figura 2. Comparación entre imagen Modis y estaciones de calidad del aire de Bogotá en un día sin y con aislamiento por COVID-19.....	17	Figura 11. Fracciones OC ₁ y PM _{2,5} ($\mu g/m^3$) e imágenes satelitales correspondientes a algunos de los picos de OC ₁ y PM _{2,5} . Abril de 2019 – noviembre de 2020. Estación MED-BEME. Medellín, Colombia.....	23	Figura 23. Concentraciones anuales de material particulado menor a 10 micras – estaciones representativas, año 2022.....	44	Figura 33. Concentraciones anuales de Dióxido de Nitrógeno – estaciones representativas, año 2022	58
Figura 3. Imágenes Modis-Maiac de municipios que producen arroz en el Tolima. A la derecha una toma del 25 de junio de 2022, para esta fecha el arroz está en crecimiento y el PM es más bajo. La imagen de la izquierda es del 5 de septiembre, temporada de cosecha y secado, el PM es más alto y se distribuye de forma homogénea en la mayor parte de la región arrocera.....	18	Figura 12. Evolución del número de sistemas de vigilancia de la calidad de aire, años 2011-2022	35	Figura 24. Top 10 de estaciones con máximas concentraciones anuales de material particulado menor a 10 micras – tendencia multianual, estaciones representativas, años 2011-2022	46	Figura 34. Días con excedencias al nivel máximo permisible horario de dióxido de nitrógeno - estaciones representativas, año 2022	60
Figura 4. Concentración promedio anual de 2022 en $\mu g m^{-3}$ para (a) PM _{2,5} , (b) PM ₁₀ ,(c) O ₃ y (d) SO ₂	20	Figura 13. Evolución del número de estaciones fijas e indicativas, años 2011-2022.....	35	Figura 25. Días con excedencias al nivel máximo permisible diario de material particulado menor a 10 micras–estaciones representativas, año 2022.....	47	Figura 35. Proporción de datos del índice de calidad del aire para dióxido de nitrógeno - estaciones representativas, año 2022	60
Figura 5. Puntos calientes del año 2022 tomados de Modis para cada temporada del año (a) DEF, (b) MAM, (c) JJA (junio, julio, agosto) y (d) SON (septiembre, octubre, noviembre).....	20	Figura 14. Evolución del número de registros reportados al Sisaire, años 2011-2022.....	35	Figura 26. Proporción de datos del índice de calidad del aire para material particulado menor a 10 micras – estaciones representativas, año 2022	48	Figura 36. Concentraciones anuales de dióxido de nitrógeno – estaciones no representativas, año 2022	61
Figura 6. Anomalías de concentración entre el promedio anual de 2022 con el promedio multianual del periodo 2010-2021 en $\mu g m^{-3}$ para (a) PM _{2,5} , (b) PM ₁₀ , (c) O ₃ y (d) SO ₂	20	Figura 15. Evolución de las estaciones de calidad del aire de acuerdo con la tecnología empleada, años 2011-2022.....	36	Figura 27. Concentraciones anuales de material particulado menor a 10 micras – estaciones no representativas, año 2022	50	Figura 37. Concentraciones anuales de Dióxido de Azufre – estaciones representativas, año 2022	62
Figura 7. Anomalías de concentración entre el promedio anual de DEF en 2022 con el promedio multianual del periodo 2010-2021 para DEF en $\mu g m^{-3}$ para (a) PM _{2,5} , (b) PM ₁₀ , (c) O ₃ y (d) SO ₂	20	Figura 16. Estaciones de calidad del aire por autoridad ambiental de acuerdo con la tecnología empleada, año 2022	36	Figura 28. Concentraciones anuales de material particulado menor a 2,5 micras – estaciones representativas, año 2022	51	Figura 38. Días con excedencias al nivel máximo permisible horario de dióxido de azufre - estaciones representativas, año 2022	63
Figura 8. Anomalías de concentración entre el promedio anual de MAM en 2022 con el promedio multianual del periodo 2010-2021 para MAM en $\mu g m^{-3}$ para (a) PM _{2,5} , (b) PM ₁₀ , (c) O ₃ y (d) SO ₂	21	Figura 17. Evolución del número de estaciones por contaminante, años 2017-2022.....	37	Figura 29. Top 10 de estaciones con máximas concentraciones anuales de material particulado menor a 2,5 micras – tendencia multianual, estaciones representativas, años 2011-2022	53	Figura 39. Proporción de datos del índice de calidad del aire para Dióxido de Azufre - estaciones representativas, año 2022	64
Figura 9. Concentración promedio anual de 2022 en $1e^{-3}$ mol m^{-2} para el NO_2 en cada temporada del año (a) DEF, (b) MAM, (c) JJA y (d) SON.....	21	Figura 18. Diferencia del número y porcentaje de estaciones de monitoreo por contaminante, años 2021 - 2022.....	37	Figura 30. Días con excedencias al nivel máximo permisible diario de material particulado menor a 2,5 micras – estaciones representativas, año 2022	54	Figura 40. Concentraciones anuales dióxido de azufre – estaciones no representativas, año 2022	65
Figura 10. Anomalías de concentración entre el promedio anual de 2022 con el promedio multianual del periodo 2019-2021 en $1e^{-3}$ mol m^{-2} para el NO_2 en cada temporada del año, (a) DEF, (b) MAM, (c) JJA y (d) SON.....	21	Figura 19. Evolución del número de estaciones con representatividad temporal, años 2017-2022.....	38	Figura 31. Proporción de datos del índice de calidad del aire para material particulado menor a 2,5 micras – estaciones representativas, año 2022.o menor a 2,5 micras – estaciones representativas, año 2022	55	Figura 41. Concentraciones anuales de ozono - estaciones representativas, año 2022.....	66
Figura 11. Fracciones OC ₁ y PM _{2,5} ($\mu g/m^3$) e imágenes satelitales correspondientes a algunos de los picos de OC ₁ y PM _{2,5} . Abril de 2019 – noviembre de 2020. Estación MED-BEME. Medellín, Colombia.....	23	Figura 20. Diferencia del número y porcentaje de estaciones de monitoreo con representatividad temporal, años 2021-2022.....	38	Figura 32. Concentraciones anuales de material particulado menor a 2,5 micras – estaciones representativas, año 2022.o menor a 2,5 micras – estaciones representativas, año 2022	55	Figura 42. Días con excedencias al nivel máximo permisible octohorario de ozono – estaciones representativas, año 2022	67
Figura 12. Evolución del número de sistemas de vigilancia de la calidad de aire, años 2011-2022	35	Figura 21. Número de estaciones con y sin representatividad temporal, año 2022.....	38	Figura 33. Concentraciones anuales de Dióxido de Nitrógeno – estaciones representativas, año 2022	58	Figura 43. Proporción de datos del índice de calidad del aire para ozono –estaciones representativas, año 2022.....	68
Figura 13. Evolución del número de estaciones fijas e indicativas, años 2011-2022.....	35	Figura 22. Municipios que requieren implementar o mejorar los SVCA de acuerdo con el tamaño de su población, año 2022	39	Figura 44. Concentraciones anuales de ozono - estaciones no representativas, año 2022	69	Figura 45. Concentraciones anuales de monóxido de carbono – estaciones representativas, año 2022	70
Figura 14. Evolución del número de registros reportados al Sisaire, años 2011-2022.....	35	Figura 23. Concentraciones anuales de material particulado menor a 10 micras – estaciones representativas, año 2022.....	44	Figura 46. Días con excedencias al nivel máximo permisible octohorario de onóxido de carbono – estaciones representativas, año 2022	71	Figura 47. Proporción de datos del índice de calidad del aire para monóxido de carbono – estaciones representativas, año 2022	71
Figura 15. Evolución de las estaciones de calidad del aire de acuerdo con la tecnología empleada, años 2011-2022.....	36	Figura 24. Top 10 de estaciones con máximas concentraciones anuales de material particulado menor a 10 micras – tendencia multianual, estaciones representativas, años 2011-2022	46	Figura 48. Concentraciones anuales de monóxido de carbono – estaciones no representativas, año 2022	72	Figura 49. Seguimiento del cumplimiento del objetivo intermedio 3 de la OMS para PM ₁₀ y PM _{2,5} , años 2017-2022.....	103
Figura 16. Estaciones de calidad del aire por autoridad ambiental de acuerdo con la tecnología empleada, año 2022	36	Figura 25. Días con excedencias al nivel máximo permisible diario de material particulado menor a 10 micras–estaciones representativas, año 2022.....	47	Figura 50. Indicador de variación de la superficie de cobertura vegetal afectada por incendios, años 2002-2022 ¹	104	Figura 51. Índice de la anomalía anual de la temperatura media para el año 2022.....	110
Figura 17. Evolución del número de estaciones por contaminante, años 2017-2022.....	37	Figura 26. Proporción de datos del índice de calidad del aire para material particulado menor a 10 micras – estaciones representativas, año 2022	48	Figura 52. Índice de la precipitación anual en porcentaje para el año 2022.....	112	Figura 53. Mosaico de la anomalía mensual de la temperatura media durante el año 2022	113
Figura 18. Diferencia del número y porcentaje de estaciones de monitoreo por contaminante, años 2021 - 2022.....	37	Figura 27. Concentraciones anuales de material particulado menor a 10 micras – estaciones no representativas, año 2022	50	Figura 54. Mosaico del índice de Precipitación Mensual durante el año 2022.....	114	Figura 55. Variación porcentual de concentraciones anuales promedio PM ₁₀ , años 2021-2022	124
Figura 19. Evolución del número de estaciones con representatividad temporal, años 2017-2022.....	38	Figura 28. Concentraciones anuales de material particulado menor a 2,5 micras – estaciones representativas, año 2022	51	Figura 56. Variación porcentual de concentraciones anuales promedio PM _{2,5} , años 2021-2022	124	Figura 44. Concentraciones anuales de ozono - estaciones no representativas, año 2022	69
Figura 20. Diferencia del número y porcentaje de estaciones de monitoreo con representatividad temporal, años 2021-2022.....	38	Figura 29. Top 10 de estaciones con máximas concentraciones anuales de material particulado menor a 2,5 micras – tendencia multianual, estaciones representativas, años 2011-2022	53	Figura 45. Concentraciones anuales de monóxido de carbono – estaciones representativas, año 2022	70	Figura 46. Días con excedencias al nivel máximo permisible octohorario de onóxido de carbono – estaciones representativas, año 2022	71
Figura 21. Número de estaciones con y sin representatividad temporal, año 2022.....	38	Figura 30. Días con excedencias al nivel máximo permisible diario de material particulado menor a 2,5 micras – estaciones representativas, año 2022	54	Figura 47. Proporción de datos del índice de calidad del aire para monóxido de carbono – estaciones representativas, año 2022	71	Figura 48. Concentraciones anuales de monóxido de carbono – estaciones no representativas, año 2022	72
Figura 22. Municipios que requieren implementar o mejorar los SVCA de acuerdo con el tamaño de su población, año 2022	39	Figura 31. Proporción de datos del índice de calidad del aire para material particulado menor a 2,5 micras – estaciones representativas, año 2022.o menor a 2,5 micras – estaciones representativas, año 2022	55	Figura 49. Seguimiento del cumplimiento del objetivo intermedio 3 de la OMS para PM ₁₀ y PM _{2,5} , años 2017-2022.....	103	Figura 49. Seguimiento del cumplimiento del objetivo intermedio 3 de la OMS para PM ₁₀ y PM _{2,5} , años 2017-2022.....	103
Figura 23. Concentraciones anuales de material particulado menor a 10 micras – estaciones representativas, año 2022.....	44	Figura 32. Concentraciones anuales de material particulado menor a 2,5 micras – estaciones representativas, año 2022	57	Figura 50. Indicador de variación de la superficie de cobertura vegetal afectada por incendios, años 2002-2022 ¹	104	Figura 50. Indicador de variación de la superficie de cobertura vegetal afectada por incendios, años 2002-2022 ¹	104
Figura 24. Top 10 de estaciones con máximas concentraciones anuales de material particulado menor a 10 micras – tendencia multianual, estaciones representativas, años 2011-2022	46	Figura 33. Concentraciones anuales de Dióxido de Nitrógeno – estaciones representativas, año 2022	58	Figura 51. Índice de la anomalía anual de la temperatura media para el año 2022.....	110	Figura 51. Índice de la anomalía anual de la temperatura media para el año 2022.....	110
Figura 25. Días con excedencias al nivel máximo permisible diario de material particulado menor a 10 micras–estaciones representativas, año 2022	47	Figura 34. Días con excedencias al nivel máximo permisible horario de dióxido de nitrógeno - estaciones representativas, año 2022	60	Figura 52. Índice de la precipitación anual en porcentaje para el año 2022.....	112	Figura 52. Índice de la precipitación anual en porcentaje para el año 2022.....	112
Figura 26. Proporción de datos del índice de calidad del aire para material particulado menor a 10 micras – estaciones representativas, año 2022	48	Figura 35. Proporción de datos del índice de calidad del aire para dióxido de nitrógeno - estaciones representativas, año 2022	60	Figura 53. Mosaico de la anomalía mensual de la temperatura media durante el año 2022	113	Figura 53. Mosaico de la anomalía mensual de la temperatura media durante el año 2022	113
Figura 27. Concentraciones anuales de material particulado menor a 10 micras – estaciones no representativas, año 2022	50	Figura 36. Concentraciones anuales de dióxido de nitrógeno – estaciones no representativas, año 2022	61	Figura 54. Mosaico del índice de Precipitación Mensual durante el año 2022.....	114	Figura 54. Mosaico del índice de Precipitación Mensual durante el año 2022.....	114
Figura 28. Concentraciones anuales de material particulado menor a 2,5 micras – estaciones representativas, año 2022	51	Figura 37. Concentraciones anuales de Dióxido de Azufre – estaciones representativas, año 2022	62	Figura 55. Variación porcentual de concentraciones anuales promedio PM ₁₀ , años 2021-2022	124	Figura 55. Variación porcentual de concentraciones anuales promedio PM ₁₀ , años 2021-2022	124
Figura 29. Días con excedencias al nivel máximo permisible horario de dióxido de azufre - estaciones representativas, año 2022	53	Figura 38. Días con excedencias al nivel máximo permisible horario de dióxido de azufre - estaciones representativas, año 2022	63	Figura 56. Variación porcentual de concentraciones anuales promedio PM _{2,5} , años 2021-2022	124	Figura 56. Variación porcentual de concentraciones anuales promedio PM _{2,5} , años 2021-2022	124
Figura 30. Días con excedencias al nivel máximo permisible diario de material particulado menor a 2,5 micras – estaciones representativas, año 2022	54	Figura 39. Proporción de datos del índice de calidad del aire para Dióxido de Azuf					

LISTA DE INFORGRAFÍAS

Infografía 1. Relación entre la calidad del aire y el cambio climático	13
Infografía 2. Responsables, atributos, elementos estratégicos y dimensiones de la gobernanza de la calidad del aire	14
Infografía 3. Evolución de la normativa de calidad del aire en Colombia.....	25
Infografía 4. El rol del Ideam en la gestión de la calidad del aire del país.....	27
Infografía 5. Metodología elaboración del informe del estado de la calidad del aire.....	31
Infografía 6. Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire y estaciones de monitoreo, año 2022.....	34
Infografía 7. Tipos de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire según el tamaño de la población de los municipios.....	39
Infografía 8. Municipios que requieren implementar o mejorar los SVCA, de acuerdo con el tamaño de su población, año 2022	40
Infografía 9. Jurisdicción de autoridades ambientales con SVCA acreditados por el Ideam, año 2022.....	41
Infografía 10. Concentraciones anuales de material particulado menor a 10 micras – clasificación de acuerdo con las recomendaciones de la OMS y la normativa vigente, estaciones representativas, año 2022.....	45
Infografía 11. Concentraciones anuales de Material particulado menor a 2,5 micras - clasificación de acuerdo con las recomendaciones de la OMS y normativa vigente, estaciones representativas, año 2022.....	52
Infografía 12. Concentraciones anuales de Dióxido de Nitrógeno – clasificación de acuerdo con las recomendaciones de la OMS y normativa vigente, estaciones representativas, año 2022.....	59
Infografía 13. Departamentos evaluados de conformidad con la jurisdicción territorial de las autoridades ambientales	74
Infografía 14. Estado de la calidad del aire regional - Departamento de Antioquia.....	75
Infografía 15. Estado de la calidad del aire regional - Bogotá, D.C.....	78
Infografía 16. Estado de la calidad del aire regional - Departamento de Bolívar.....	81

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. SVCA en Colombia, de acuerdo con la tecnología de medición, año 2022.....	26
Tabla 2. Normatividad de calidad del aire en Colombia versus directrices mundiales de la Organización Mundial de la Salud.....	28
Tabla 3. Puntos de corte del Índice de Calidad del Aire -ICA-.....	29
Tabla 4. Consolidado de indicadores nacionales de calidad del aire.....	102
Tabla 5. Evolución del indicador de seguimiento para PM ₁₀ y PM _{2,5} , años 2017-2022.....	103
Tabla 6. Comportamiento del índice oceánico de El Niño, año 2022	109

LISTA DE ACRÓNIMOS Y SIGLAS

Agronet: Red de información y comunicación del sector Agropecuario Colombiano	Cortolima: Corporación Autónoma Regional del Tolima	OPS: Organización Panamericana de la Salud
AMVA: Área Metropolitana del Valle de Aburrá	CRA: Corporación Autónoma Regional del Atlántico	OMS: Organización Mundial de la Salud
ANDI: Asociación Nacional de Industriales	CRC: Corporación Autónoma Regional del Cauca	PERS: Planes de Energización Rural Sostenible
ANH: Agencia Nacional de Hidrocarburos	CRQ: Corporación Autónoma Regional del Quindío	PND: Plan Nacional de Desarrollo
BECO: Balance energético colombiano	CSM: Cuenta Satélite de Minería	Porkcolombia: Fondo Nacional de la Porcicultura
Calact: Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina	CVC: Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca	Procemco: Cámara Colombiana de Cemento y Concreto
CAM: Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena	CVS: Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge	RUA: Registro Único Ambiental
CAR: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca	Dagma: Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente de Cali	RUNT: Registro Único Nacional de Tránsito
Carder: Corporación Autónoma Regional de Risaralda	DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística	RNMA: Registro Nacional de Maquinaria Agrícola, Industrial y de Construcción Autopropulsada
CDMB: Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga	DNP: Departamento Nacional de Planeación	SDA: Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá
CEED: Censo de edificaciones	EAM: Encuesta Anual Manufacturera	Sicom: Sistema de Información de Combustibles
Codechocó: Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó	ECV: Encuesta de Calidad de Vida	Simco: Sistema de Información Minero Colombiano
Corantioquia: Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia	ENA: Encuesta Nacional Agropecuaria	SIPG: Sistema de Información de Petróleo y Gas Colombiano
Cormacarena: Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial de la Macarena	EPA: Establecimiento Público Ambiental de Barranquilla - Barranquilla Verde	Sisaire: Subsistema de Información sobre Calidad del Aire
Cornare: Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare	EPA Cartagena: Establecimiento Público Ambiental de Cartagena	SSPD: Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios
Corpamag: Corporación Autónoma Regional del Magdalena	EPA U. S.: United States Environmental Protection Agency	SUI: Sistema Único de Información de servicios públicos domiciliarios
Corpoboyacá: Corporación Autónoma Regional de Boyacá	EVA: Evaluaciones Agropecuarias Municipales	SVCA: Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire
Corpocaldas: Corporación Autónoma Regional de Caldas	Fenavi: Federación Nacional de Avicultores de Colombia	UPME: Unidad de Planeación Energética
Corpcesar: Corporación Autónoma Regional del Cesar	ICA: Instituto Colombiano Agropecuario	WSA: World Steel Association
Corpoguajira: Corporación Autónoma Regional de La Guajira	Ideam: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	CO: Monóxido de Carbono
Corponariño: Corporación Autónoma Regional de Nariño	IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change	NO: Monóxido de Nitrógeno
Corporon: Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental	LEAP: Low Emissions Analysis Platform	NO₂: Dióxido de Nitrógeno
	MADS: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	O₃: Ozono
	NDC: Nationally Determined Contributions	PM₁₀: Material particulado inferior a 10 micras
	OMM / WMO: Organización Meteorológica Mundial	PM_{2,5}: Material particulado inferior a 2,5 micras
		SO₂: Dióxido de Azufre

AGRADECIMIENTOS

A los profesionales de la Dirección de Asuntos Ambientales Sectorial y Urbana del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible por su apoyo al Ideam, y a las autoridades ambientales a nivel nacional, mediante la formulación de políticas, estrategias, planes y programas que permiten el mejoramiento de la calidad del aire en el país, así como el fortalecimiento de las capacidades técnicas de los profesionales que trabajan en su monitoreo y seguimiento.

A la directora del Ideam, doctora Ghisliane Echeverry Prieto, quien viene fortaleciendo al Instituto de manera que pueda suministrar información oportuna y de calidad a los tomadores de decisiones y a la ciudadanía en general, que permita implementar y hacer seguimiento a las políticas para el mejoramiento de la calidad del aire a nivel nacional.

A la subdirectora de Estudios Ambientales, Elizabeth Patiño Correa, por su apoyo permanente al Grupo de Seguimiento a la Sostenibilidad del Desarrollo, especialmente al tema de calidad del aire, en la búsqueda de su fortalecimiento debido a su relevancia del tema.

A los profesionales de las Corporaciones Autónomas Regionales y de las autoridades ambientales de los grandes centros urbanos (AMVA, CAM, CAR, Cardique, CDMB, Corantioquia, Cormacarena, Cornare, Corpamag, Corpoboyacá, Corpocaldas, Corpocesar, Corpoguajira, Corponor, Cortolima, CRC, CRQ, CVC, CVS, Dagma, EPA Barranquilla Verde, EPA Cartagena y SDA) por atender oportunamente las solicitudes del Ideam, sus aportes al fortalecimiento del monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, y por suministrar datos que permiten contar con información relevante.

A Juan Mauricio García de la Universidad El Bosque, Bogotá, Ailin Cabrera de la Universidad Sergio Arboleda, Alejandro Casallas de la Universidad Sergio Arboleda y el Abdus Salam International Center for Theoretical Physics Trieste Italia, Yuri González de la Universidad Nacional de Colombia (sede Bogotá) y la Fundación Universitaria Los Libertadores, Nathalia Celis de la Università degli Studi di Padova (Padua, Italia), Caroline Mogollón del Central European University, Viena Austria, Luis Carlos Belalcázar de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, Miryam Gómez y Kelly Patiño del Grupo GHY GAM, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Colombia, Martha Herrera y Sandra González del Centro de Innovación y Tecnología -ICP- de Ecopetrol Bucaramanga, Colombia, por sus valiosos aportes en los capítulos de colaboración que presentan los avances de la academia en la temática de calidad del aire.

Al estadístico Jorge Mendoza, quien lideró el procesamiento estadístico de los datos recopilados mediante el Subsistema de Información sobre Calidad del Aire -Sisaire- que administra el Ideam.

Un especial agradecimiento al Grupo de Climatología y Agrometeorología de la Subdirección de Meteorología del instituto, especialmente al subdirector TC. Jorge Giovanni Jiménez Sánchez y al ingeniero químico Henry Benavidez por aportar sus valiosos conocimientos y productos para la construcción del capítulo de meteorología.

Al comunicador social Andrés Felipe Tapiero Ríos, cuyos conocimientos y lineamientos editoriales permitieron la realización de este documento.

A todas las personas que de una u otra forma contribuyeron a la elaboración del presente informe.

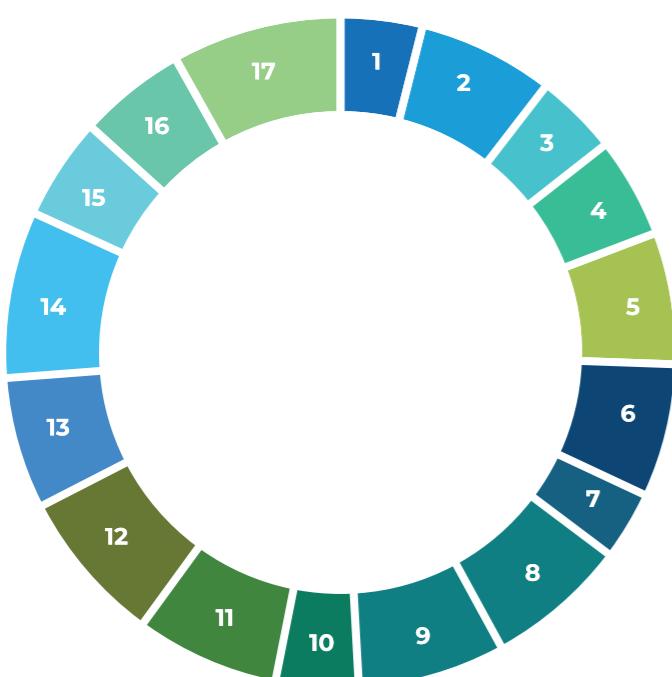


PRÓLOGO

En 2015, los países miembros de la Organización de Naciones Unidas adoptaron la Agenda 2030, que contempla 17 objetivos que buscan el trabajo mancomunado para proteger el planeta, ponerle fin a la pobreza y mejorar la calidad de vida de la población mundial viviendo en paz y prosperidad. Estos son los conocidos Objetivos de Desarrollo Sostenible -ODS-.

Las diversas áreas que contemplan estos objetivos se encuentran relacionadas, de forma que la acción en una de ellas afectará a las demás. Así mismo, se fundamentan en que para que exista desarrollo sostenible debe haber equilibrio entre tres pilares: social, económico y ambiental.

En Colombia, mediante el Conpes 3918 de 2018, "Estrategia para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en Colombia", se trazó la hoja de ruta para la implementación, reporte y seguimiento de los ODS; este documento contiene



las metas nacionales (169) con sus respectivos indicadores (180), así como las entidades que lideran y apoyan la implementación.

De acuerdo con el Informe Anual de Avance en la Implementación de los ODS en Colombia (Departamento Nacional de Planeación, 2022), el país presentó un avance global del 60.2 % en la implementación de los ODS. Dentro de los objetivos que tienen porcentajes más bajos de avance se encuentran energía asequible y no contaminante, con el 41.4 %; fin de la pobreza, con 48.9 %, y reducción de la desigualdad, con el 50 %. Por otro lado, los ODS con mayor porcentaje de avance en su implementación corresponden a alianzas para lograr los objetivos (ODS 17), vida submarina (ODS 14) y producción y consumo responsables (ODS 12).

De acuerdo con el citado informe, el porcentaje de avance del país con respecto a los 17 ODS es el siguiente:

1. Fin de la probreza: **48.9 %**
2. Hambre Cero: **79.8 %**
3. Salud y bienestar: **50.2 %**
4. Educación de calidad: **59.7 %**
5. Igualdad de género: **77.3 %**
6. Agua limpia y saneamiento: **79.1 %**
7. Energía asequible y no contaminante: **41.4 %**
8. Trabajo decente y crecimiento económico: **85.6 %**
9. Industria, innovación e infraestructura: **86.3 %**
10. Reducción de la desigualdad: **50 %**
11. Ciudades y comunidades sostenibles: **85.7 %**
12. Producción y consumo responsable: **91.5 %**
13. Acción por el clima: **79.2 %**
14. Vida submarina: **98 %**
15. Vida de ecosistemas terrestres: **63.3 %**
16. Paz, justicia e instituciones sólidas: **62.7 %**
17. Alianzas para lograr objetivos: **100 %**

Fuente: DNP (2022).

Figura 1. Porcentaje de avance del país respecto a los ODS

Los ODS se suscribieron hace ocho años, es decir que faltan solo siete años para llegar al 2030, y de acuerdo con el informe del DNP se evidenciaron las necesidades de fortalecer una implementación integral y de abordar con mayor celeridad la construcción de sinergias y la identificación de indicadores para impulsar la agenda de sostenibilidad del país. Así mismo, el documento señala los retos que se presentan para el financiamiento integral de diversas fuentes para el desarrollo, la necesidad del fortalecimiento estadístico, las alianzas con actores que no pertenecen al Gobierno y la importancia de vincular activamente a las comunidades, temas que denotan la importancia del modelo de gobernanza.

En lo relacionado con calidad del aire, se pueden destacar los siguientes ODS:



Como conclusiones muy generales del Informe Anual de Avance en la Implementación de los ODS en Colombia (Departamento Nacional de Planeación, 2022) se pudo evidenciar que, para lograr cumplir con las metas fijadas en los ODS, no basta con asignar los recursos necesarios, sino que se deben atender los problemas estructurales que han sido identificados. Este informe sirvió como insumo para la formulación del Plan Nacional de Desarrollo, de manera que permita "avanzar en la articulación de los ODS en el ciclo de la gestión pública; y articular el seguimiento físico y presupuestal a los ODS", lo que redundará, en últimas, en el mejoramiento de la calidad de vida de la población colombiana.



Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2020).

RESUMEN EJECUTIVO

RESPONSABILIDAD DEL IDEAM

Administrar el Subsistema de Información sobre Calidad del Aire -Sisaire-, que recopila los datos de calidad del aire de los sistemas de vigilancia operados por las autoridades ambientales, con los cuales se elabora este informe.

¿CUÁNTOS INFORMES HA ELABORADO EL IDEAM?

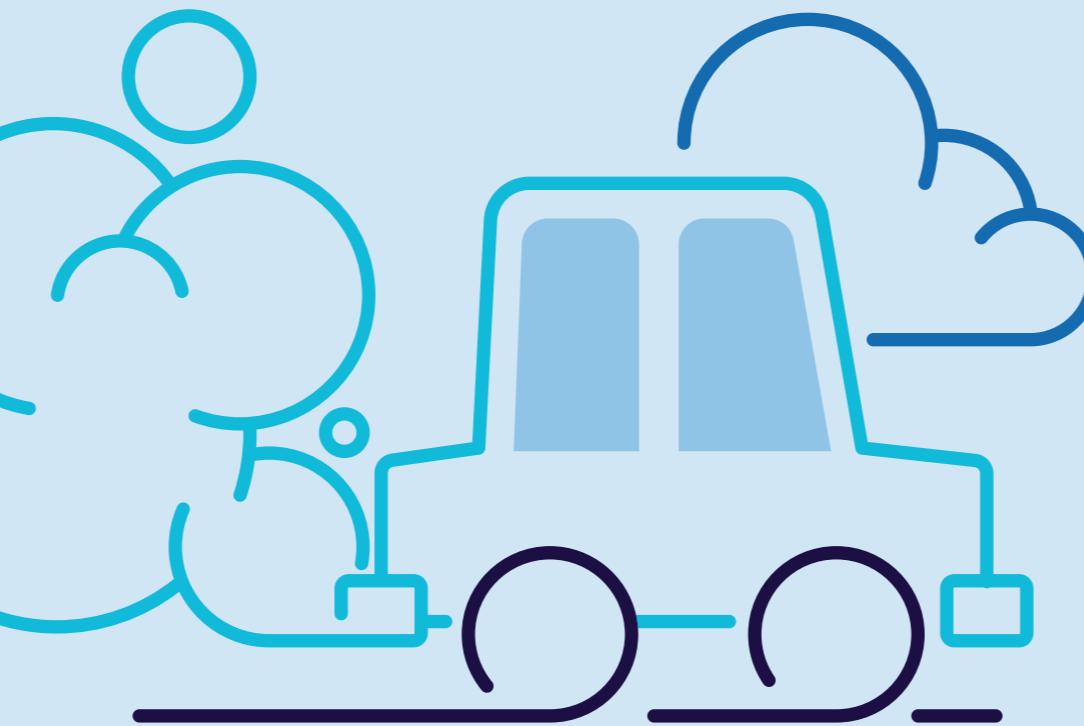
El informe 2022 corresponde a la décima edición de este reporte, el cual se elabora desde el año 2006.

¿ESTA INFORMACIÓN ES CONSIDERADA COMO OFICIAL?

Gracias a la certificación recibida en 2019 por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística -DANE-, a la operación Estadísticas de Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, los datos aquí presentados son considerados oficiales.

TEMAS DESTACADOS QUE ENCONTRARÁ EN EL INFORME

- Estado y evolución de los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire -SVCA-
- Contaminantes evaluados
- Municipios que deben implementar o mejorar sus SVCA
- Requerimientos de acreditación
- Estado de la calidad del aire a nivel nacional para los contaminantes criterio
- Índice de calidad del aire a nivel nacional
- Estado de la calidad del aire regional: Antioquia, Bogotá, Bolívar, Boyacá, Caldas, Cesar, Córdoba, Cundinamarca, Huila, Magdalena, Santander, Tolima y Valle del Cauca
- Evaluación de indicadores de seguimiento a políticas
- Meteorología
- Conclusiones y recomendaciones



1.1. CALIDAD DEL AIRE Y CAMBIO CLIMÁTICO

1.1.1. CONCEPTOS CLAVE CALIDAD DEL AIRE Y CAMBIO CLIMÁTICO

¿Qué es el cambio climático?

De acuerdo con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), el cambio climático es una perturbación a largo plazo de los parámetros climáticos en la tierra, atribuible a la actividad humana, con las consecuentes alteraciones en la composición de la atmósfera a nivel global que refuerza los efectos de variabilidad climática como tormentas, inundaciones, deslizamientos de tierra, temperaturas extremas e incendios forestales, presentados en períodos de tiempo comparables (Ideam, 2023).

¿Qué es contaminación atmosférica?

Cuando hablamos de contaminación atmosférica nos referimos a la presencia de sustancias en el aire que alteran la composición de la atmósfera y además interfieren con la salud o el bienestar humano produciendo efectos dañinos en el ambiente, incluyendo a las diferentes especies animales y vegetales (WHO, 2023).

¿Qué es calidad del aire?

Se entiende por calidad del aire al nivel de pureza del aire en una zona espacial específica, teniendo en cuenta que en condiciones normales no debe contener concentraciones considerables de

sustancias que alteren su composición de 78 % en volumen de Nitrógeno, 21 % de oxígeno, 0.93 % de argón y 0.035 % de dióxido de carbono.

Para determinar la calidad del aire se deben establecer las concentraciones de algunas sustancias generadas de manera natural y por las actividades antropogénicas que conllevan riesgos para las diferentes formas de vida (von Schneidemesser et al., 2015). Cuando las concentraciones de los contaminantes priorizados, también conocidos como contaminantes criterio, son bajas de acuerdo con la normatividad vigente se puede argumentar que se cuenta con calidad del aire buena, de lo contrario, dependiendo del tipo de contaminante y sus concentraciones, se puede hablar de calidad del aire aceptable, dañina a la salud de grupos sensibles, dañina para la salud, muy dañina para la salud o peligrosa, de acuerdo con los límites del índice de calidad del aire establecidos para cada contaminante criterio, los cuales serán abordados a continuación (Manosalidis et al., 2020).

¿Qué son contaminantes criterio?

Los contaminantes criterio, también conocidos como contaminantes estándar, son un conjunto de sustancias químicas y partículas que han sido identificadas por las autoridades ambientales como causantes de problemas significativos para la salud humana y el ambiente. Estos contaminantes se consideran especialmente peligrosos debido a sus

efectos negativos conocidos y su prevalencia en el ambiente (EPA, 2015).

¿Cómo se clasifican los contaminantes criterio?

Los contaminantes criterio se pueden clasificar de acuerdo a si son emitidos directamente por fuente a la atmósfera o si son generados por la interacción de otros contaminantes con la radiación solar o entre sí, como contaminantes primarios o contaminantes secundarios (EPA, 2015).

¿Qué son contaminantes primarios?

Se trata de las sustancias que se emiten directamente hacia la atmósfera por una fuente puntual, que puede ser natural o provenir de las actividades humanas, como las industrias o el transporte, los incendios forestales, entre otras (von Schneidemesser et al., 2015).

Entre los contaminantes primarios podemos encontrar los siguientes:

Material Particulado PM₁₀: Se refiere a las partículas sólidas o líquidas con un diámetro aerodinámico inferior a los 10 micrómetros y que pueden ser emitidas por diferentes fuentes como incendios forestales, erupciones volcánicas y tormentas de polvo, emisiones de vehículos, procesos industriales, quema

de biomasa, construcción y actividades de calefacción y cocina, entre otros. Por su tamaño pueden llegar a las vías respiratorias superiores, causando irritación y afecciones respiratorias (EPA, 2015).

Material Particulado PM_{2.5}: Se refiere a las partículas sólidas o líquidas con un diámetro aerodinámico inferior a los 2.5 micrómetros provenientes de fuentes similares a las del PM₁₀ y que pueden tener impactos más negativos en la salud humana porque pueden llegar a los alvéolos y causar diferentes afecciones cardiovasculares (EPA, 2023).

Dióxido de azufre (SO₂): Un gas incoloro y venenoso emitido por la combustión de combustibles fósiles y fuentes naturales como los volcanes, que puede causar problemas respiratorios y contribuir a la formación de la lluvia ácida (von Schneidemesser et al., 2015).

Monóxido de carbono (CO): Un gas inodoro y venenoso producido por la combustión incompleta de combustibles fósiles, que puede afectar negativamente la capacidad del cuerpo para transportar oxígeno (EPA, 2015).

Óxidos de nitrógeno (NO_x): Compuestos químicos que incluyen óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂) emitidos principalmente por vehículos motorizados y procesos industriales. Pueden contribuir a la formación de esmog y causar problemas respiratorios (EPA, 2023).

¿Qué son los contaminantes precursores?

Cuando hablamos de contaminantes precursores nos referimos a compuestos que al ser liberados a la atmósfera tienen la capacidad de reaccionar con la luz solar y otros compuestos provocando la generación de contaminantes atmosféricos secundarios. Entre los contaminantes precursores se encuentran los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), cuya composición hace posible para ellos la evaporación en condiciones atmosféricas normales de temperatura y presión ambiente. En general, los COV son emitidos por actividades industriales que emplean disolventes orgánicos como la siderurgia, la producción de cosméticos, la ebanistería y la pintura. Estos compuestos tienen la capacidad de reaccionar con la luz solar y los óxidos de nitrógeno para formar ozono troposférico (Ideam, 2023).

De la misma manera, los óxidos de nitrógeno y el dióxido de azufre son considerados contaminantes precursores debido a su capacidad de reaccionar con la luz solar, el oxígeno gaseoso y el agua a nivel atmosférico para formar la lluvia ácida (Ideam, 2023).

¿Qué son los contaminantes secundarios?

Los contaminantes secundarios son sustancias que no son liberadas directamente a la atmósfera y que se forman como consecuencia de reacciones químicas entre contaminantes primarios y otras sustancias presentes en el aire; dichas reacciones son influenciadas por la presencia de la radiación solar y otros factores meteorológicos y topográficos de escala microlocal (Galán Madruga, 2021).

Ozono troposférico (O_3): es un gas que se forma a través de reacciones químicas entre los óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles (COV) en presencia de la luz solar. El ozono en la

tropósfera es un contaminante cuyas concentraciones deben ser monitoreadas por sus impactos en la salud humana, los cuales incluyen daños a los pulmones y problemas respiratorios (EPA, 2015).

Dióxido de nitrógeno (NO_2): se trata de un gas de color rojizo que puede ser considerado como contaminante secundario debido a que, además de ser emitido por los vehículos o algunas actividades industriales, puede ser generado de manera indirecta en la atmósfera por la oxidación del monóxido de nitrógeno (EPA, 2023).

¿Qué son los gases de efecto invernadero?

Los gases de efecto invernadero son sustancias emitidas a la atmósfera principalmente por actividades antropogénicas, que pueden permanecer en la misma por períodos de tiempo que varían entre algunos días, años, décadas y hasta siglos dependiendo de su naturaleza, y son capaces de absorber la radiación solar provocando un aumento en la temperatura global del planeta (Ideam, 2023).

Dentro de los gases de efecto invernadero encontramos a las siguientes sustancias:

Dióxido de carbono (CO_2): es un gas emitido a la atmósfera por la quema de combustibles fósiles, residuos sólidos y biomasa, entre otros; tiene la particularidad de ser una sustancia que puede ser absorbida o transformada por las especies vegetales como parte del ciclo de carbono (IPCC, 2023).

Óxido nitroso (N_2O): es un gas liberado a la atmósfera por la quema de combustibles fósiles, la combustión de residuos sólidos, el tratamiento de aguas residuales y algunas actividades económicas relacionadas con la agricultura, y tiene un potencial de calentamiento global mucho mayor que el del dióxido de carbono (Ideam, 2023).

Metano (CH_4): es un gas de efecto invernadero que se produce principalmente por la fermentación entérica en las actividades de producción de ganadería bovina, por la producción y transporte del gas natural, el carbón y el petróleo, además de la disposición de residuos orgánicos en rellenos sanitarios, que tiene un potencial de calentamiento global 21 veces superior al del dióxido de carbono, pero con una perduración menor que la de este último en la atmósfera (Ideam, 2023).

Gases fluorados: en esta categoría encontramos compuestos como el hexafluoruro de azufre, el trifluoruro de nitrógeno, los hidrofluorocarbonos, los perfluorocarbonos y los perfluorocarbonos, que tienen en común que son sustancias sintéticas usadas en diversas actividades industriales, como en equipos de refrigeración, y aunque son emitidas en bajas cantidades tienen potenciales de calentamiento global muy superiores a los del dióxido de carbono, el metano, y óxido nitroso (IPCC, 2013).

¿Qué es un contaminante climático de vida corta?

Aparte del metano, definido anteriormente, los contaminantes climáticos de vida corta (CCVC), son un grupo de partículas o gases que tienen la capacidad de alterar o influenciar la calidad del aire y a su vez producen calentamiento global, sin embargo, con una duración en la atmósfera que puede variar entre un par de días y hasta 10 años (MADS, 2023). Dentro de los contaminantes climáticos de vida corta se encuentran las siguientes sustancias:

Carbono negro (BC): se trata de partículas de carbono de tamaño microscópico que son liberadas a la atmósfera por la combustión incompleta de la biomasa o los combustibles fósiles, y son consideradas forzadoras del cambio climático a nivel local debido a su capacidad de absorber la radiación solar por su coloración oscura (EPA, 2011).

Hidrofluorocarbonos (HFCs): se refieren a compuestos sintéticos usados en los equipos de refrigeración, y que al ser liberados a la atmósfera tienen un potencial de calentamiento global mucho mayor que el del dióxido de carbono (IPCC, 2013).

Óxidos de nitrógeno (NO_x): son considerados contaminantes climáticos de vida corta debido a su capacidad de formar ozono troposférico, el cual a su vez, debido a su capacidad para absorber la radiación solar, es un forzador del clima (EPA, 2023).

En la actualidad, con la creciente expansión demográfica en los entornos urbanos, la preservación de una buena calidad del aire se ha convertido en una de las preocupaciones más importantes para los gobiernos y comunidades a nivel global (Columbic et. al, 2019). De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud -OMS-, las malas condiciones en la calidad del aire exterior, en sinergia con la mala calidad del interior, estuvieron asociadas a 6,7 millones de muertes prematuras en el año 2019 (OMS, 2022).

Al mismo tiempo, uno de los mayores retos, en cuanto al desarrollo sostenible que enfrentan nuestras sociedades, es el cambio climático; lograr un crecimiento económico, cultural y social reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero para lograr la meta de no aumentar la temperatura del planeta en más de 1,5 °C al año 2030 parece cada vez más difícil de alcanzar, de acuerdo con el estudio *Cambio climático 2023: informe de síntesis del IPCC: "El ritmo del aumento de temperatura en los últimos 50 años es el más alto en 2000 años"* (IPCC, 2023).

No hay un lugar del mundo en el cual no se sientan los efectos del cambio climático, olas de calor, sequías extremas y desastrosas tormentas e inundaciones. De acuerdo con la Organización Panamericana de la Salud -OPS- se prevén 250.000 muertes adicionales por año en las próximas décadas como resultado del cambio climático (OPS, 2023). Particularmente en Colombia, según el Departamento Nacional de Planeación, para el año 2015, la mala calidad del aire causó más de 8.000 muertes anuales con un costo aproximado de 12.2 billones de pesos (Minsalud, 2021).

Los datos presentados anteriormente dan cuenta de las consecuencias tangibles en la salud y bienestar de las sociedades, tanto del cambio climático como de la calidad del aire, y nos dan luces acerca de la gran

conexión que hay entre estos dos procesos. De hecho, es ampliamente sabido que las condiciones meteorológicas tienen un impacto directo en la calidad del aire, favoreciendo o dificultando la dispersión de los contaminantes criterio emitidos en una región determinada, como ocurre en las ciudades de Medellín y Bogotá en Colombia (Rendón et. al., 2015; Roldán-Heano et. al., 2020; Casallas et. al., 2023). A su vez, las variaciones en las concentraciones de los contaminantes criterio pueden potenciar los efectos del cambio climático (Von Schneidemesser et al., 2015).

Para facilitar el entendimiento de la relación entre la calidad del aire y el cambio climático se presenta una infografía de las principales interacciones entre estos dos procesos.

Infografía 1. Relación entre la calidad del aire y el cambio climático



1.2. GOBERNANZA DE LA CALIDAD DEL AIRE

1.2.1. MODELO DE GOBERNANZA EN COLOMBIA

Durante las últimas décadas a nivel mundial, se han venido realizando grandes esfuerzos en el mejoramiento de la calidad del aire. La implementación de redes de monitoreo, el refinamiento de las tecnologías de medición y el aseguramiento de la calidad de las mediciones han sido frentes de trabajo que, gracias a su rápida evolución, permiten contar con datos que se acercan cada vez más a las condiciones reales de la calidad del aire.

Por otro lado, las entidades del sector salud han realizado numerosos estudios que permiten establecer los efectos de los contaminantes atmosféricos sobre la salud de la población, y todo esto, traducido en pérdidas económicas, se convierte en uno de los problemas ambientales de mayor interés para los gobiernos.

Los problemas de contaminación atmosférica se presentan principalmente en las grandes ciudades y los centros industriales; de acuerdo con las últimas cifras entregadas por el DANE como resultado del censo poblacional realizado en el 2018, de los 45.5 millones de habitantes del país el 77.7 %, es decir, más de 35 millones de personas, viven en las cabeceras municipales.

Lo anterior permite evidenciar la gravedad del problema que estamos enfrentando con la mala calidad del aire; en este sentido, durante los últimos quince años en el país se vienen haciendo numerosos esfuerzos para mejorar la calidad de este recurso, que, si bien son liderados desde el sector ambiental, requieren de la participación activa de la industria y el transporte, entre otros, como los sectores que en mayor medida contribuyen con la emisión de contaminantes a la atmósfera.

Debido a que se ha comprobado que el Estado no tiene la capacidad de dar solución por sí mismo a todos los problemas que aquejan a la sociedad, surgen los ciudadanos, la academia y el sector privado como actores fundamentales, dejando atrás el concepto de gobernabilidad, que

lo considera como el único responsable de dirigir a la sociedad gracias a su capacidad de gobernarla, e incorporando el concepto de gobernanza; desde esta perspectiva, las soluciones a los problemas surgen del gobierno, como líder que tiene cierta independencia de la sociedad. En este sentido, la gobernanza permite que estos nuevos actores participen de manera activa en la búsqueda de soluciones a los problemas que la sociedad considera como fundamentales y de importancia para el grueso de la población. En el momento en que los ciudadanos se sienten partícipes de las soluciones, aparecen la educación, la autogestión y la autorregulación, como conceptos fundamentales que promueven cambios en su comportamiento.

Este nuevo estilo de gobierno se basa en relaciones de cooperación entre las entidades gubernamentales, la sociedad, la academia y el sector privado de manera que se promuevan la acción colectiva y el diálogo para la toma de decisiones y que permita trazar la hoja de ruta para alcanzar los objetivos propuestos, buscando que las acciones implementadas trasciendan los períodos de gobierno. Este modelo busca el establecimiento de relaciones más horizontales entre gobernantes y gobernados, lo cual requiere de la creación de espacios para la participación ciudadana y voluntad del Gobierno para promover esta participación. No obstante, los ciudadanos deben educarse para aportar elementos de valor tanto en la identificación de las causas, como en la búsqueda de las soluciones a los problemas.

Así las cosas, con base en una revisión de modelos de gobernanza ambiental a nivel nacional e internacional, y a partir de los aportes de diferentes colectivos ciudadanos, autoridades ambientales, academia y expertos en la materia, en el año 2021 el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible publicó la propuesta inicial del Modelo de la Gobernanza del Aire para Colombia, cuyos principales elementos se presentan a continuación:



Infografía 2. Responsables, atributos, elementos estratégicos y dimensiones de la gobernanza de la calidad del aire

¿Qué es la gobernanza del aire?

La gobernanza del aire implica la gestión conjunta y las interacciones entre entidades gubernamentales, el sector privado y la sociedad civil con el propósito de progresar en la mejora de la calidad de este recurso natural. Este concepto abarca todos los procesos, mecanismos e instituciones mediante los cuales todos los actores ejercen influencia en las acciones destinadas a mejorar la gestión de la calidad del aire en un determinado territorio.

¿Quiénes son los actores involucrados en la gobernanza del aire y cuáles son sus responsabilidades mínimas?



Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2023).



Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2024).

¿Cuáles son los atributos o características de la gobernanza del aire?

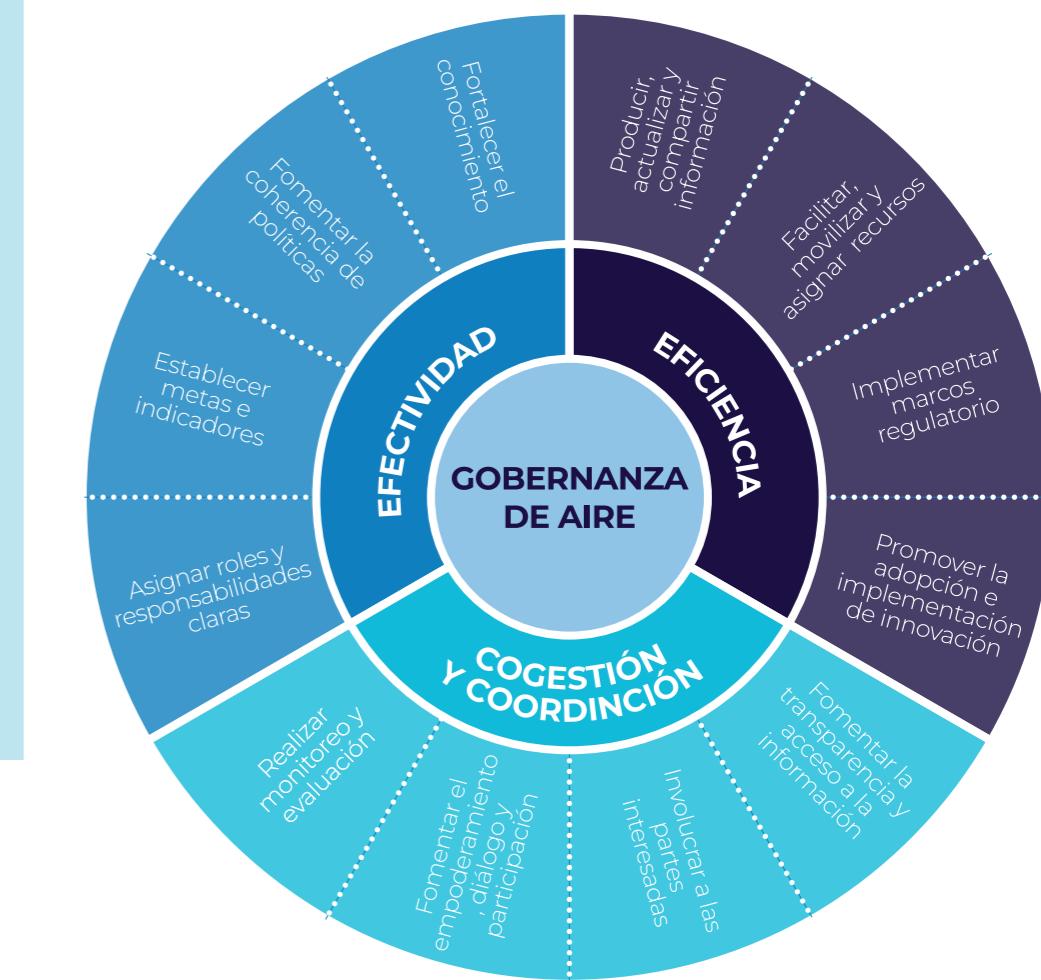


¿Cuáles son los elementos estratégicos para la construcción de la gobernanza del aire?



Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2023).

¿Cuáles son las tres dimensiones y las acciones de la gobernanza del aire?



"El modelo de gobernanza del aire debe ser construido e implementado de manera conjunta entre todos los actores involucrados en la gestión de la calidad del aire en Colombia, para ello se desarrollarán espacios de trabajo que permitan formular el plan de acción, las metas y los indicadores para dar seguimiento a su adecuada implementación".

Para ampliar la información puede ser consultada en la página del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible a través del siguiente enlace:

 https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/03/GOBERNANZA_DEL_AIRE_DOC.pdf

1.2.2. RETOS Y OPORTUNIDADES DE LAS IMÁGENES SATELITALES COMO MÉTODO DE GOBERNANZA DEL AIRE EN COLOMBIA, CASO MATERIAL PARTICULADO

Capítulo de colaboración elaborado por Juan Mauricio García Delgadillo¹

Introducción

Las imágenes satelitales son una herramienta invaluable en el monitoreo de la calidad del aire, brindando una visión global de la distribución de contaminantes en la atmósfera (Ung et al., 2001). Estas imágenes son capturadas por satélites equipados con sensores especializados, que pueden detectar cómo interactúa una onda electromagnética que penetra en la atmósfera con partículas y gases (Ma et al., 2016). Las mediciones se combinan con algoritmos y modelos para generar mapas y estimaciones de la concentración de contaminantes en diferentes regiones del mundo (EPA, 2008).

Las imágenes satelitales permiten una evaluación objetiva y una comprensión más completa de los patrones de contaminación y la identificación de fuentes de emisión y control. Por esta razón, para 1995 el planeta contaba con 42 instrumentos en órbita que monitoreaban la calidad del aire (principalmente ozono, metano, óxidos de nitrógeno y azufre, con experiencias exitosas) y hacia el 2009 se estaba comenzando la exploración de imágenes de aerosoles y su relación con el material particulado. Los resultados eran medianamente aceptables, ya que las correlaciones oscilaban entre un 10 y 20 % (Hoff y Christopher, 2009).

Es importante tener en cuenta que las mediciones satelitales son complementarias a las mediciones en tierra realizadas por estaciones de monitoreo y sensores terrestres. La combinación de datos satelitales y terrestres proporciona una visión más completa de la calidad del aire, y ayuda a los científicos y responsables de la toma de decisiones a comprender mejor los patrones y las tendencias de la contaminación atmosférica (Ung et al., 2003).

Además del monitoreo en tiempo real, las imágenes satelitales también se utilizan para el análisis retrospectivo y la generación de mapas de concentración de contaminantes en el aire (Ung et al., 2003). Estos mapas proporcionan una visión general de las áreas más afectadas por la contaminación, y pueden ayudar en la toma de decisiones para implementar medidas de control y mitigación.

Imágenes satelitales como herramientas de información para monitoreo de material particulado en Colombia

El material particulado está relacionado con numerosas enfermedades respiratorias a nivel global (Anderson, Thundiyil y Stolbach 2011; Magnani et al., 2016). En Colombia es considerado el tipo de contaminante más monitoreado (Ideam, 2012), y existe abundante literatura que explora métodos para determinar su distribución espacial y los efectos en la salud. Entre los casos reportados se encuentra el estudio realizado en Cali (De la Pava, Salguero y Fernández, 2008), donde se determinó que la variable que más se relaciona con la prevalencia de enfermedades respiratorias es el PM₁₀. En Medellín se revisó la exposición en instituciones educativas (Bedoya y Martínez, 2008), mientras que en Envigado se analizó la contaminación proveniente de fuentes móviles (Londoño, Correa y Palacio, 2011). Por otro lado, en Bogotá se llevó a cabo un análisis general de la calidad del aire (Gaitán et al., 2007; Rincón Pérez, 2015).

En el contexto específico de Colombia se han publicado diversos artículos y trabajos de grado que abordan el tema del material particulado y las imágenes satelitales. En los años 2016 y 2017, se realizaron análisis utilizando los sensores Landsat 5 y 8 (Castro, 2016; Ramírez, 2017). Posteriormente, en 2019, se empleó el sensor CALIPSO (Morales, 2019), mientras que en 2021 y 2022 se trabajó con imágenes MODIS mejoradas en su resolución espacial mediante la corrección MAIAC (García-Delgadillo, 2022). Otros estudios incluyeron una comparación en Bogotá, para el año 2022, utilizando Sentinel-Copernicus (Culma, 2021; Pulido, 2022; Acevedo et al., 2022) como parte de su análisis.

Gobernanza del aire

En un enfoque de gobernanza ambiental se busca integrar de manera holística todo el sistema, reconociendo su diversidad, lo cual implica considerar a los actores sociales y el sistema ecológico (Hogenboom et al., 2014). La gobernanza ambiental puede definirse como “un tipo específico de gobernanza que abarca los procesos, mecanismos y organizaciones a través de los cuales los actores políticos influyen en las acciones y resultados

ambientales” (Pérez, 2021, p. 288). Para lograr esto es esencial establecer una organización basada en derechos, identidades y diversidades (Reyes y Jara, 2004), fomentando la generación de información compartida (Rodríguez Garavito et al., 2017) y empoderando a las comunidades para abordar las dificultades locales relacionadas con la gestión de su territorio desde un enfoque ambiental (Pérez, 2021).

En el contexto de la gobernanza se deben incorporar mecanismos de concertación, conciliación, acuerdos y negociación para la toma de decisiones en diversos contextos, teniendo en cuenta las identidades y diversidades, de manera dinámica, adaptándose a las interacciones y configuraciones propias de los grupos de interés (De Castro et al., 2015). Para tomar decisiones adecuadas es esencial que las comunidades tengan la capacidad de resolver los problemas relacionados con la gestión ambiental (Kooiman y Bavinck, 2005).

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible define la gobernanza del aire como la cogestión e interacciones entre organismos públicos, sector privado y sociedad civil para avanzar en el mejoramiento de la calidad de este recurso natural comprende todos los procesos, mecanismos e instituciones a través de los cuales todos los actores influyen en las acciones para mejorar la gestión de la calidad del aire en el territorio (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021, p. 11).

Para lograr una gobernanza efectiva del aire es fundamental generar información compartida, lo cual requiere mejorar las capacidades de las comunidades para obtener datos de fuentes confiables e independientes con el objetivo de gestionar la calidad y disponibilidad del recurso de manera efectiva (Duncan et al., 2004).

¹. Universidad El Bosque, Bogotá, Colombia.

Retos y oportunidades del uso de imágenes satelitales como herramienta de gobernanza de la calidad del aire en Colombia

El monitoreo espacial del material particulado resulta crucial para identificar áreas donde las actividades humanas impactan directamente la calidad de vida de las comunidades debido a la diversidad de contaminantes presentes en él, destacando principalmente el hollín de la combustión de diésel, el polvo de las vías, la agricultura y los procesos productivos (Fang et al., 2003). Aunque las estaciones terrestres ofrecen la información más precisa, su alto costo de operación y mantenimiento (Mbarndouka et al., 2021) limita su uso en la mayoría de los municipios del país.

Generalmente se asume que las ciudades, debido a sus actividades económicas e industriales, enfrentan los peores problemas relacionados con el material particulado; no obstante, esta percepción puede no ser siempre precisa (Otero, 2018). En Colombia existen procesos adicionales que requieren una monitorización importante, como los incendios forestales, la industria minera y los movimientos estacionales de las poblaciones humanas. Estos espacios pueden ser caracterizados mediante sensores remotos y datos abiertos, lo que implica menores costos y no tiene limitaciones en su uso, eso los convierte en herramientas accesibles para cualquier usuario (Romero et al., 2017).

En Colombia se han realizado recientemente diversos ejercicios de validación de datos satelitales para predecir el material particulado utilizando imágenes multiespectrales de sensores remotos y modelos matemáticos (Castro, 2016; Ramírez, 2017). Estas imágenes proporcionan datos de muy buena resolución (en metros) (Chen et al., 2019) y son adecuadas para casos específicos donde se puede tolerar cierto grado de incertidumbre (Gitahi et al., 2019). Sin embargo, uno de los desafíos asociados con estos modelos se relaciona con la disponibilidad de imágenes libres de nubosidad (Pulido, 2022) y sin costo adicional (Li et al., 2019), así como la necesidad de complementar los modelos con más variables predictoras (Ramírez, 2017).

En casos distintos la exploración es más directa mediante sensores especializados en aerosoles, como las imágenes MODIS (Jin et al., 2022). También se ha explorado el uso de datos en plataformas como CAMS (Guevara-Luna et al., 2019) y FIRMS, obteniendo resultados satisfactorios para observar la evolución del material particulado en todo el país. No

obstante, debido a su resolución espacial de 30 km, estas plataformas pueden no facilitar la diferenciación de lo que ocurre en el interior de muchos municipios del país (Acevedo et al., 2022).

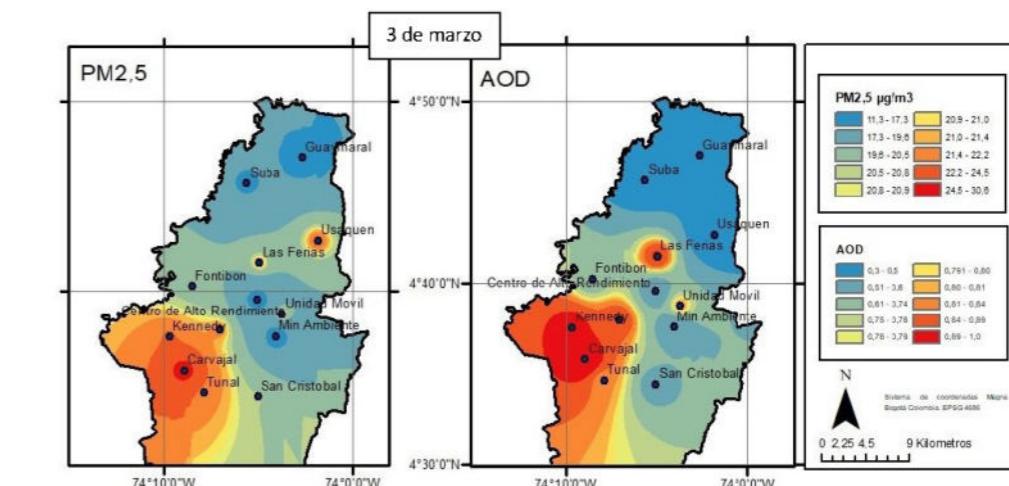
A medida que la contaminación por material particulado se ha convertido en un problema más grave en áreas urbanizadas, ha surgido una mayor necesidad de obtener resoluciones espaciales más finas (Jin et al., 2022). Las imágenes CALIPSO ofrecen una resolución de 5 km (Vaughan et al., 2009), lo cual es adecuado, pero las imágenes MODIS con la corrección MAIAC (Implementación Multiangular de Corrección Atmosférica) proporcionan una resolución espacial de 1 km (Jackson et al., 2013). Si comparamos la densidad de las estaciones de monitoreo en Bogotá con la que se puede obtener a partir de imágenes MODIS-MAIAC o CALIPSO, la diferencia es sorprendente. Actualmente la ciudad cuenta con 20 puntos de monitoreo (entre fijos y móviles) (Secretaría Distrital de Ambiente, 2022) en un área urbana de 478 km² (Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe, 2023), lo que significa que se dispone de aproximadamente un dato por cada 24 km². Sin embargo, con la imagen CALIPSO se puede obtener un dato cada 5 km² (96 datos) y con la MODIS-MAIAC se obtiene un dato por cada kilómetro cuadrado (478 datos). Esto destaca la ventaja significativa que ofrecen las imágenes con mayor resolución espacial para realizar un monitoreo más detallado y preciso del material particulado en áreas urbanas.

Es evidente que los datos provenientes de las estaciones de monitoreo presentan una baja incertidumbre, lo que permite calibrar las imágenes satelitales utilizando esta información como patrón. Esto ha dado lugar a correlaciones que varían entre el 60 % y el 90 % en diferentes estudios (Castro, 2016; Ramírez, 2017; Morales, 2019; Pulido, 2022; Acevedo et al., 2022; García-Delgadillo, 2022). En casos de gobernanza del aire, donde la toma de decisiones es participativa y se necesita un conocimiento compartido, una incertidumbre del 40 % es más que aceptable, especialmente cuando la información oficial es limitada.

Los datos obtenidos a través de MODIS han sido validados con éxito mediante estaciones terrestres, y existen casos donde las imágenes permiten predecir de manera muy cercana fenómenos, como los cambios ocurridos durante el aislamiento por COVID-19 (García-Delgadillo, 2022). En este caso, aunque la correlación entre datos fue del 60 %, la información aportada por las imágenes en una comparación cualitativa es bastante aceptable (Figura 2).

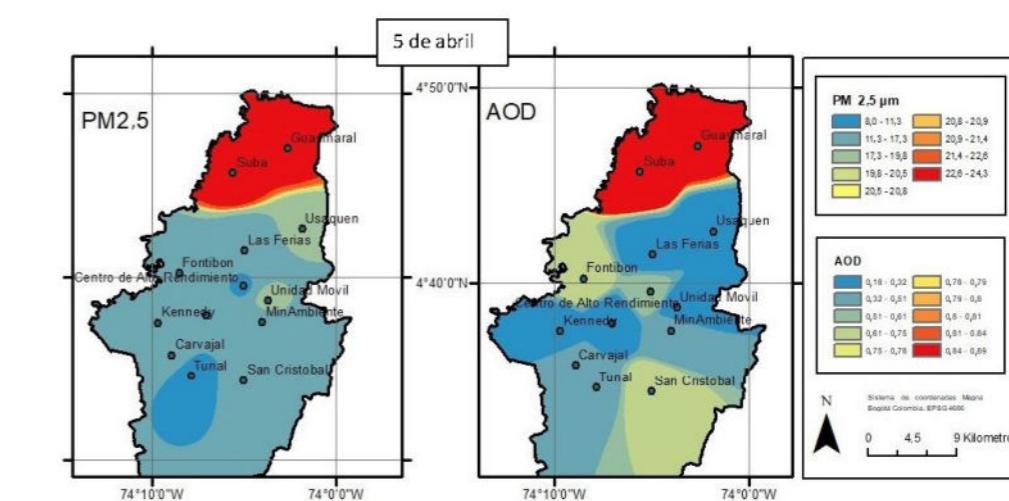
 **Figura 2.** Comparación entre imagen Modis y estaciones de calidad del aire de Bogotá en un día sin y con aislamiento por COVID-19

Datos de un día antes del aislamiento por COVID-19



Fuente: García-Delgadillo (2022).

Datos de un día durante el aislamiento por COVID-19



Fuente: García-Delgadillo (2022).

En la actualidad el uso de imágenes satelitales para predecir el material particulado presenta un gran potencial como fuente de información cuantitativa en modelos matemáticos y como herramienta para observar el comportamiento de fenómenos puntuales, como quemas, cultivos, cosechas, minería, entre otros (figura 3). Estas imágenes son de particular relevancia para la gobernanza ambiental, sobre todo en áreas en donde los datos son escasos o de difícil acceso (figura 3).

En la actualidad se encuentran disponibles herramientas en línea cuyo rol en la gobernanza ambiental es de gran relevancia. Estas herramientas desempeñan la función crucial de suministrar datos y recursos tanto a la población en general como a las autoridades encargadas de la toma de decisiones. Sin embargo, en el contexto colombiano se presentan limitaciones notables en lo que respecta

a la capacidad efectiva de los actores involucrados para validar y acceder a esta información. Este aspecto restringe el potencial de aprovechamiento de las imágenes satelitales como contribución a las decisiones colaborativas.

Aquí radica la importancia fundamental de lograr sinergia entre la academia, las entidades gubernamentales y los grupos ciudadanos. Es imperativo simplificar el acceso ciudadano a plataformas que cuenten con datos respaldados por información oficial y con imágenes procesadas. Asimismo, se debe garantizar que estos datos puedan ser interpretados y explicados a las comunidades de manera comprensible. De esta forma, las comunidades podrán comprender los acontecimientos que se evidencian en sus territorios, lo que a su vez les permitirá tomar decisiones informadas en un entorno de participación activa.

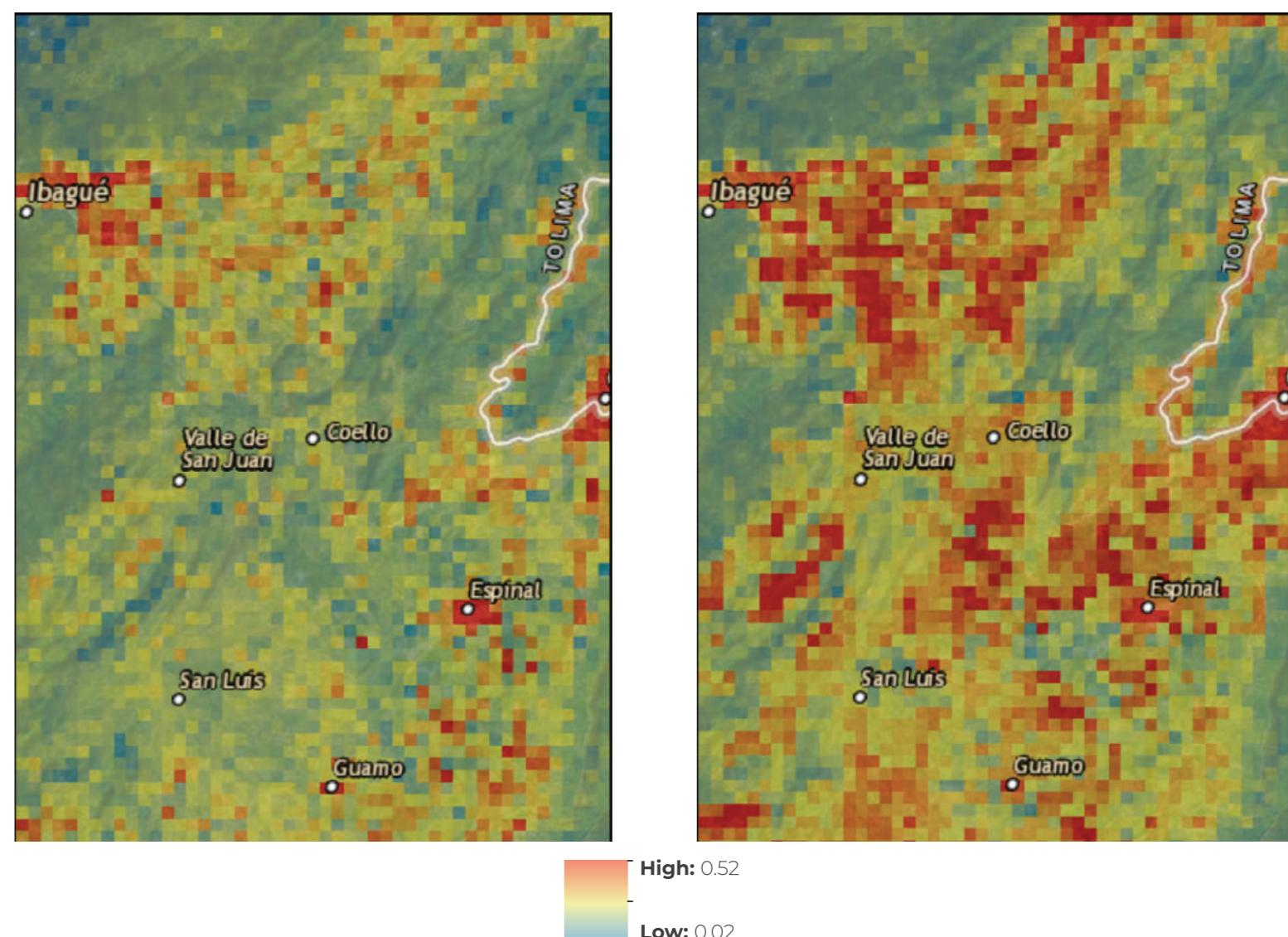
Conclusiones

Las imágenes satelitales representan una herramienta poderosa y confiable para el monitoreo y evaluación de la calidad del aire. Su capacidad para ofrecer una visión global, identificar fuentes de contaminación y rastrear patrones de contaminantes es fundamental para comprender y abordar los desafíos relacionados con la calidad del aire. Es importante destacar que estas imágenes son complementarias a las mediciones en tierra realizadas por las estaciones de monitoreo de la calidad del aire. Al combinar ambos tipos de datos, se logra obtener una imagen más completa y precisa en una región determinada.

En general, las imágenes satelitales son herramientas fundamentales para el monitoreo ambiental y la toma de decisiones en el marco de la gobernanza ambiental. Al proporcionar información precisa y amplia sobre la calidad del aire y las emisiones de material particulado, contribuyen a establecer políticas más efectivas y a promover una mayor responsabilidad en la protección del ambiente. Sin embargo, es necesario abordar ciertos temas relacionados con la facilidad de uso para cualquier usuario y mejorar la resolución espacial y temporal de estas imágenes, para maximizar su utilidad y eficacia en el monitoreo de la calidad del aire y la toma de decisiones ambientales.



Figura 3. Imágenes Modis-Maiac de municipios que producen arroz en el Tolima. A la derecha una toma del 25 de junio de 2022, para esta fecha el arroz está en crecimiento y el PM es más bajo. La imagen de la izquierda es del 5 de septiembre, temporada de cosecha y secado, el PM es más alto y se distribuye de forma homogénea en la mayor parte de la región arrocera



Fuente: Fuente: García-Delgadillo (2022).

1.2.3. ANÁLISIS ESPACIAL DE LA CALIDAD DEL AIRE EN COLOMBIA POR MEDIO DE REANÁLISIS E INFORMACIÓN SATELITAL

Capítulo de colaboración elaborado por Aillin Cabrera¹, Alejandro Casallas^{1,2}, Yuri González^{3,4}, Nathalia Celis⁵, Caroline Mogollon⁶ y Luis Carlos Belalcázar³

Introducción

En este capítulo se describen y analizan los cambios en el comportamiento de los contaminantes criterio: PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂, NO, SO₂ y O₃ durante el año 2022 utilizando datos de reanálisis (mediciones *in situ* y fuentes satelitales), de modo que en las zonas donde no hay estaciones de medición se provea información para entender la dinámica espacial y la magnitud de la contaminación atmosférica abarcando todo el territorio colombiano. En este nuevo capítulo, a diferencia de las versiones anteriores, se incluyen datos satelitales provenientes de Tropospheric Monitoring Instrument -Tropomi-, los cuales proporcionan mediciones directas de NO₂. Para esto, se estableció la distribución espacial y la magnitud de los contaminantes; así mismo, se identificaron las anomalías en donde se comparó la concentración de cada contaminante durante el 2022 con el promedio de los años previos de CAMS (2010-2021) y TROPOMI (2019-2021). El análisis consideró factores meteorológicos durante las diferentes temporadas del año, así como el transporte de contaminantes debido a los incendios forestales en diferentes zonas de la región. Todas las herramientas usadas permiten comprender mejor los problemas de calidad del aire, y junto con las mediciones disponibles en superficie son un buen complemento para la adopción de políticas que permitan mejorar la calidad del aire de Colombia.

1.2.3.1 Datos y método

1.2.3.1.1 Datos (CAMS, Tropomi, Modis hotspots)

El Centro Europeo de Predicción Meteorológica a Mediano Alcance (ECMWF) ha implementado el Servicio de Monitoreo de la Atmósfera de Copernicus (CAMS), el cual genera datos de todos los contaminantes

atmosféricos en intervalos horarios y ofrece una cobertura espacial completa. Este servicio es especialmente útil en áreas con un número limitado de estaciones de monitoreo en superficie (Inness et al., 2019). Los datos de reanálisis CAMS, en su mayoría de acceso público, proporcionan información detallada sobre la composición atmosférica con una resolución espacial de 0.75° x 0.75° y una temporal de 3 horas (Inness et al., 2019). Para este informe se descargó información abarcando todo el territorio colombiano (Lat: 14 a -6 y Lon: -82 a -64). Utilizando esta información es posible complementar los datos de las redes nacionales de monitoreo y obtener una visión del comportamiento de los contaminantes atmosféricos en todo el territorio colombiano, incluyendo todas las zonas urbanas y rurales. Cabe mencionar que los datos de CAMS han sido validados en diversos estudios (e. g., Inness et al., 2019; Acevedo et al., 2023), los cuales indican que representan de manera adecuada los contaminantes atmosféricos sobre Colombia.

Dado que los episodios de contaminación en varias zonas de Colombia, como el Valle de Aburrá, Bogotá y Cali, están relacionados con el transporte de contaminación proveniente de incendios forestales (Casallas et al., 2022), se descargaron datos de puntos calientes (hotspots) de la Plataforma de Información Sobre Incendios para Sistema de Gestión de Recursos -FIRMS, correspondientes al año 2022 (NASA, 2022), con el 75 % de confianza. Junto con CAMS también se utiliza el satélite Sentinel 5p, el cual tiene una órbita heliosíncrona y fue desarrollado por la Agencia Espacial Europea -ESA- en colaboración con la Comisión Europea -CE-, con la finalidad de analizar la atmósfera terrestre para comprender y controlar la calidad del aire. Cuenta con el instrumento TROPOMI, que opera en una configuración de barredora con una franja de aproximadamente 2600 km. El instrumento mide las concentraciones de gases traza en la atmósfera como NO₂, O₃, SO₂, CO, HCHO, CH₄ y aerosoles mediante cuatro espectrómetros que miden en las bandas espectrales ultravioleta (UV), UV-visible, infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta (SWIR) (Veefkind et al., 2012), con una resolución espacial de 5.5 x 3.5 km² para todas las bandas espectrales, con la excepción de la banda UV (7 x 28 km²) y las bandas SWIR (7 x 7 km²).

Cabe destacar que la forma de captura de la información de TROPOMI y de los Sistemas de Vigilancia de Calidad de Aire SVCA es diferente. Por lo tanto, su proceso de validación requiere de una investigación exhaustiva, que depende del contaminante a analizar. Algunas investigaciones han realizado este proceso, desde un análisis de tendencias (González, 2021) hasta una validación estadística como las investigaciones realizadas por Cooper et al. (2020) y Virta et al. (2023).

1.2.3.1.2. Análisis de magnitudes y anomalías de los contaminantes criterio

Se emplearon datos de reanálisis de CAMS para determinar la magnitud de los contaminantes (PM₁₀, PM_{2.5}, O₃, SO₂) en el año 2022 mediante el cálculo del promedio anual (Figura 2), los NOx no son incluidos dado que CAMS produce una incertidumbre significativa en su representación. Además, con el objetivo de identificar cambios en las concentraciones de los contaminantes se calcularon las anomalías. Estas se obtuvieron restando el promedio anual del año 2022 al promedio multianual (2010-2021) para Colombia. A partir de los resultados obtenidos se llevó a cabo un análisis con dos objetivos principales: i) identificar las áreas con mayor contaminación por cada contaminante, ii) determinar en qué zonas se observaron aumentos o disminuciones de los contaminantes en comparación con los valores promedio, y iii) establecer los factores meteorológicos y cinéticos que contribuyan con el desempeño de los contaminantes. Esto permitió analizar posibles factores asociados a los comportamientos de cada contaminante en el país (Casallas et al., 2022).

Para complementar lo anterior se utilizó información de NO₂ troposférico de Tropomi, por medio de la plataforma de procesamiento y análisis de imágenes geoespaciales de libre acceso Google Earth Engine (GEE). Esta plataforma permite el procesamiento mediante su editor de código, y por medio de este se accede a la información de TROPOMI en un tercer nivel, lo que indica que la información ya ha sido depurada teniendo en cuenta la calidad de pixel estipulada para cada contaminante. Posteriormente, se obtiene la anomalía tomando el promedio del 2019 al 2021 y restando al promedio de 2022. TROPOMI fue usado específicamente para conocer el comportamiento del NO₂ con una resolución espacial de 5.5 x 3.5 km² (Zhao et al., 2020) y con una cobertura total de la superficie de Colombia (Veefkind et al., 2012).

1. Universidad Sergio Arboleda, Bogotá, Colombia.

2. Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Trieste, Italia.

3. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

4. Fundación Universitaria Los Libertadores, Bogotá, Colombia.

5. Università degli studi di Padova, Padua, Italia.

6. Central European University, Viena, Austria.

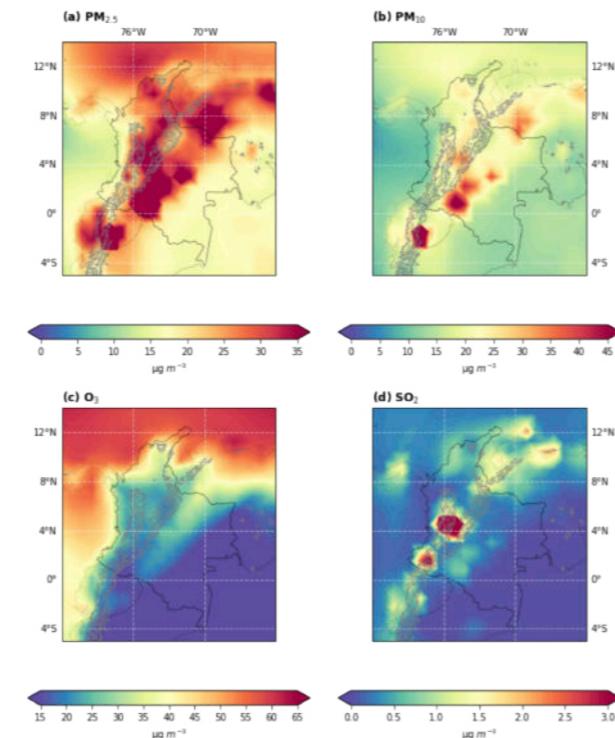
1.2.3.2. Resultados y discusión

1.2.3.2.1. Concentración, anomalías y sus fuentes

Los principales centros urbanos: Bogotá, Cali y Medellín registraron el promedio más alto de concentración de PM_{2.5} y PM₁₀ en los últimos años (Figura 4a, 4b y Figura 6). Esto asociado a fuentes móviles y fijas del área metropolitana de las ciudades, como al transporte de material particulado (PM) de zonas con alta densidad de incendios forestales (Casallas et al., 2022). El arco noroccidental de la Amazonía (departamentos de Putumayo, Caquetá, Meta y Guaviare) y el departamento de Arauca, zona limítrofe entre Venezuela y Colombia, presentan un aumento en cantidad y magnitud de incendios (Figura 5) donde la concentración de PM_{2.5} se desplaza hacia el centro del país con valores promedio de 35 $\mu\text{g m}^{-3}$ (e.g., Mendez-Espinosa et al., 2020; Ballesteros-González et al. 2020; Casallas et al. 2023a). Por su parte, el ozono (Figura 4c) tiene un comportamiento homogéneo en la cordillera de los Andes, con valores de 30 $\mu\text{g m}^{-3}$, mientras que al sur del Amazonas los valores tienen un promedio de 15 $\mu\text{g m}^{-3}$. Ahora bien, el dióxido de azufre (Figura 4d) está asociado principalmente con la actividad volcánica (UNAL - Corpocaldas, 2022) del Parque Nacional Natural Los Nevados (4°N, 76°W) y el volcán Galeras, en el departamento de Nariño al sur del país, con valores hasta de 3 $\mu\text{g m}^{-3}$.

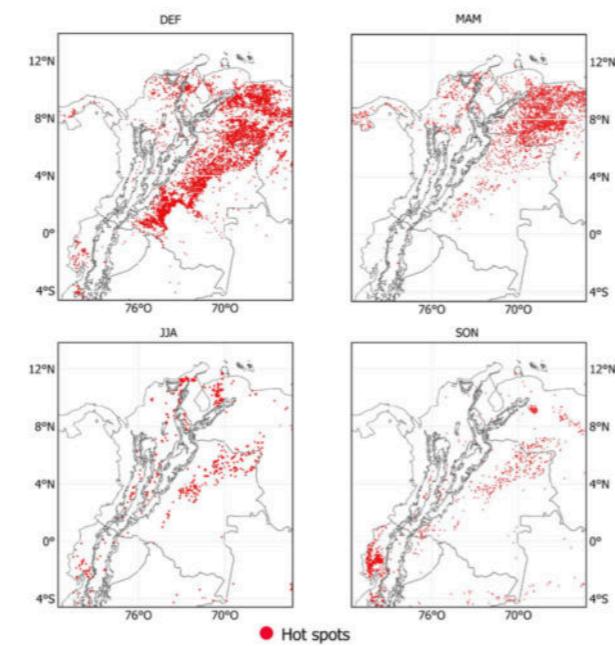
Las anomalías permiten observar un fuerte incremento en PM_{2.5} y PM₁₀, a pesar de la disminución en la deforestación que hubo en algunos trimestres del año 2022, según lo indicado por el Informe de Deforestación del Ideam (MADS, 2022). Las anomalías positivas se encontraron principalmente en el arco noroccidental de la Amazonía y en la región de la Orinoquía, en donde se destaca la frontera con Venezuela (Arauca) (figuras 3a y 3b), esto asociado con eventos de deforestación y quema agrícola (Molina-Orjuela et al., 2022; ESICI, 2022). En los departamentos del Meta, Caquetá y Putumayo se concentra el 59 % de la deforestación en Colombia en los últimos años (FCDS, 2023; Vásquez, 2023), afectando Parques Nacionales Naturales y

Figura 4. Concentración promedio anual de 2022 en $\mu\text{g m}^{-3}$ para (a) PM_{2.5} (b) PM₁₀ (c) O₃ y (d) SO₂



Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Puntos calientes del año 2022 tomados de Modis para cada temporada del año (a) DEF, (b) MAM, (c) JJA (junio, julio, agosto) y (d) SON (septiembre, octubre, noviembre)

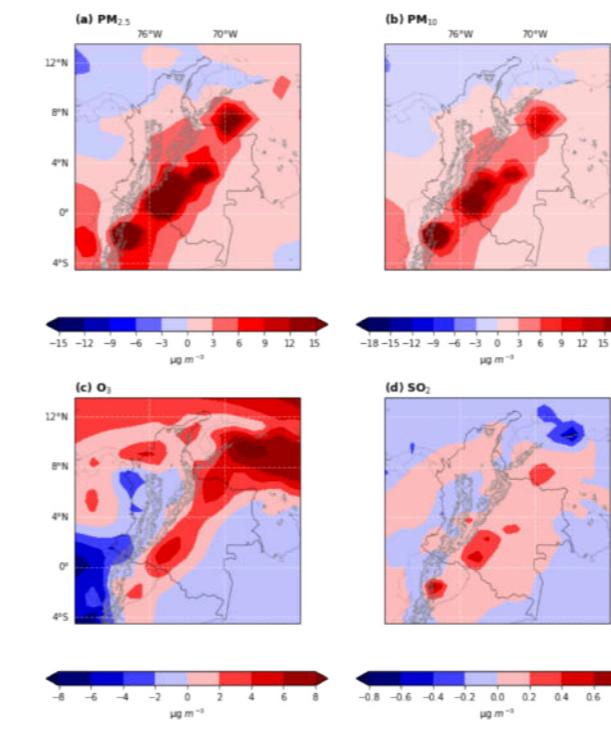


Fuente: elaboración propia.

otras áreas protegidas del Amazonas donde se dieron los principales puntos de calor en el 2022 (FCDS, 2022). Por otro lado, el ozono presenta una anomalía positiva (Figura 6c) paralela a la cordillera Oriental que actúa como una barrera natural que limita la mezcla y transporte del O₃ (Ballesteros-Gonzalez et al., 2020; Casallas et al., 2023a). Mientras que en las cordilleras Central y Occidental, así como al sureste del Amazonas, hay una anomalía negativa (disminución) posiblemente asociada con la baja tasa de consumo del ozono a causa del NO y a condiciones meteorológicas tales como la capa límite y la rapidez del viento (Tang et al., 2016) que promueven la mezcla del contaminante. Por su parte, el SO₂ presenta anomalías positivas en la mayor parte del territorio colombiano donde los valores más altos se encuentran en el sur del país, sugiriendo que los volcanes de esta zona tuvieron mayor actividad este año en comparación con la última década.

Investigaciones previas (e. g., Murillo-Escobar, 2019; Jain et al., 2021; Casallas et al., 2023a; Casallas et al., 2023b) encontraron que algunas temporadas

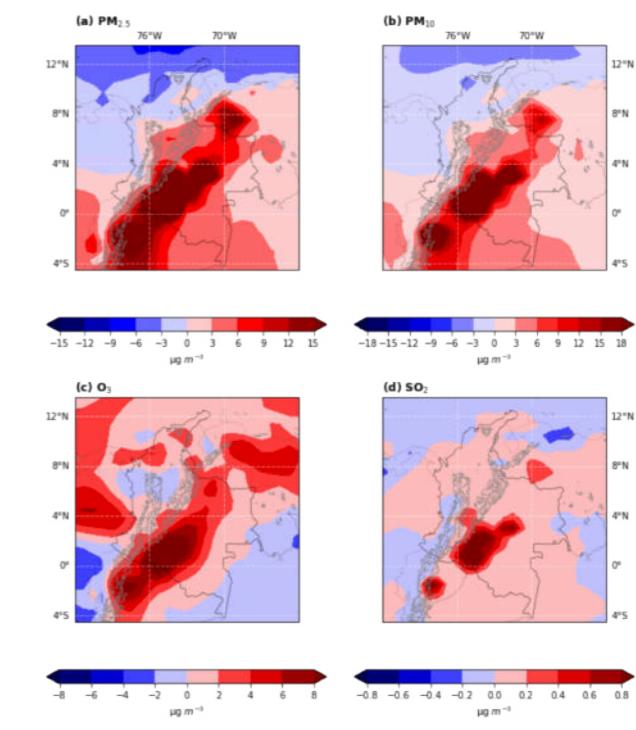
Figura 6. Anomalías de concentración entre el promedio anual de 2022 con el promedio multianual del periodo 2010-2021 en $\mu\text{g m}^{-3}$ para (a) PM_{2.5} (b) PM₁₀ (c) O₃ y (d) SO₂



Fuente: elaboración propia.

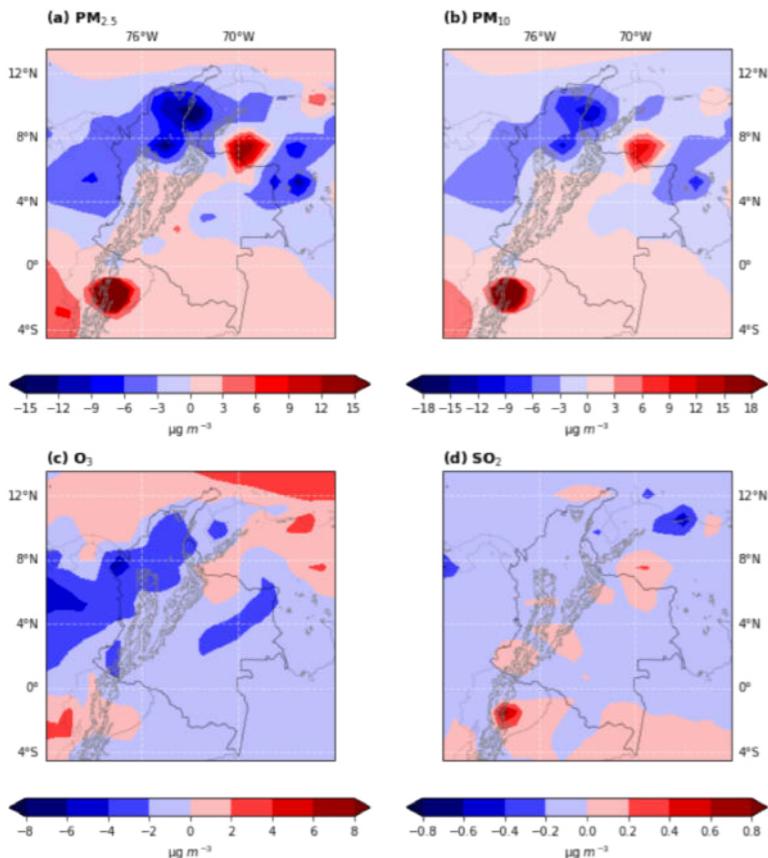
tienen características meteorológicas que pueden contribuir al aumento de la concentración de uno o varios contaminantes en Colombia. La temporada de diciembre-enero-febrero (DEF) tiene los valores más bajos de precipitación y más altos en temperatura (UNGRD, 2022), promoviendo la cantidad, duración e intensidad de los incendios forestales, y aumentando la concentración de PM_{2.5}, PM₁₀ y O₃ (figuras 7a y 7b) en el noroccidente de la Amazonía y en el área limítrofe con Venezuela. Además de esto, en las zonas agrícolas durante esta temporada se presentan quemas destinadas a la limpieza y preparación de la tierra para empezar un nuevo ciclo de siembra (Mateus-Fontecha et al., 2022). Así mismo, el transporte de material particulado desde regiones como la Orinoquía a través de los vientos alisios, característicos de la primera temporada seca del año, afectan la calidad del aire en zonas centrales del país (e.g. Cundinamarca), en donde fenómenos como la inversión térmica (aumento de la temperatura en relación a la altura) dificultan la circulación de los contaminantes favoreciendo su permanencia (Casallas et al., 2023b).

Figura 7. Anomalías de concentración entre el promedio anual de DEF en 2022 con el promedio multianual del periodo 2010-2021 para DEF en $\mu\text{g m}^{-3}$ para (a) PM_{2.5} (b) PM₁₀ (c) O₃ y (d) SO₂



Fuente: elaboración propia.

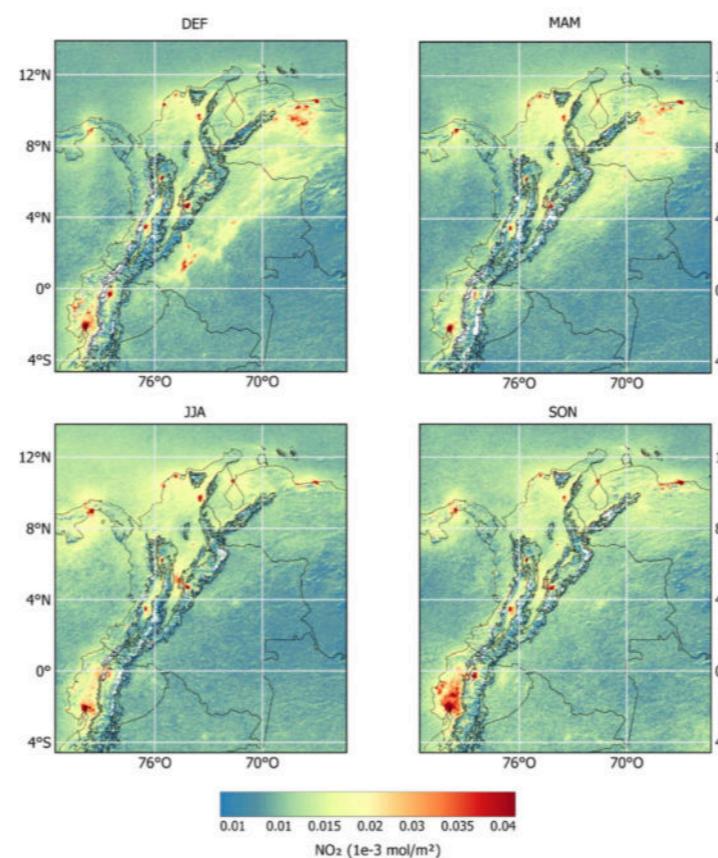
 **Figura 8.** Anomalías de concentración entre el promedio anual de MAM en 2022 con el promedio multianual del periodo 2010-2021 para MAM en $\mu\text{g m}^{-3}$ para (a) $\text{PM}_{2.5}$, (b) PM_{10} , (c) O_3 y (d) SO_2



Fuente: elaboración propia.

Por esta razón y debido a la intensificación de la agricultura en DEF la mayoría de territorio colombiano tiene una anomalía positiva de MP en comparación con la temporada marzo-abril-mayo (MAM), en la cual los valores de $\text{PM}_{2.5}$ y PM_{10} (Figuras 8a y 8b) tienen una anomalía significativamente menor debido a la disminución de quemas vinculadas a la deforestación en un 37 %, en comparación con esta misma temporada en el 2021 (Ideam, 2022). La anomalía positiva de O_3 en DEF (Figura 8c) puede estar asociada a los incendios forestales, y también con el aumento en la atmósfera de precursores [i.e., Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs); NO_2] presentes en la combustión de biomasa. La ubicación espacial del aumento del O_3 coincide con la zona del Amazonas donde se presentan la mayoría de los incendios forestales en esta temporada. En MAM (figura 5c), por el contrario, se ve una leve anomalía negativa ($-2 \mu\text{g m}^{-3}$) en todo el país. El comportamiento del SO_2 es similar al de los anteriores contaminantes, en DEF (Figura 4d) la anomalía positiva se ubica sobre la fuente, siendo esta los volcanes con mayor actividad del país, mientras que en MAM (Figura 5d) en el 2022

 **Figura 9.** Concentración promedio anual de 2022 en $10^{-3} \text{ mol m}^{-2}$ para el NO_2 en cada temporada del año (a) DEF, (b) MAM, (c) JJA y (d) SON

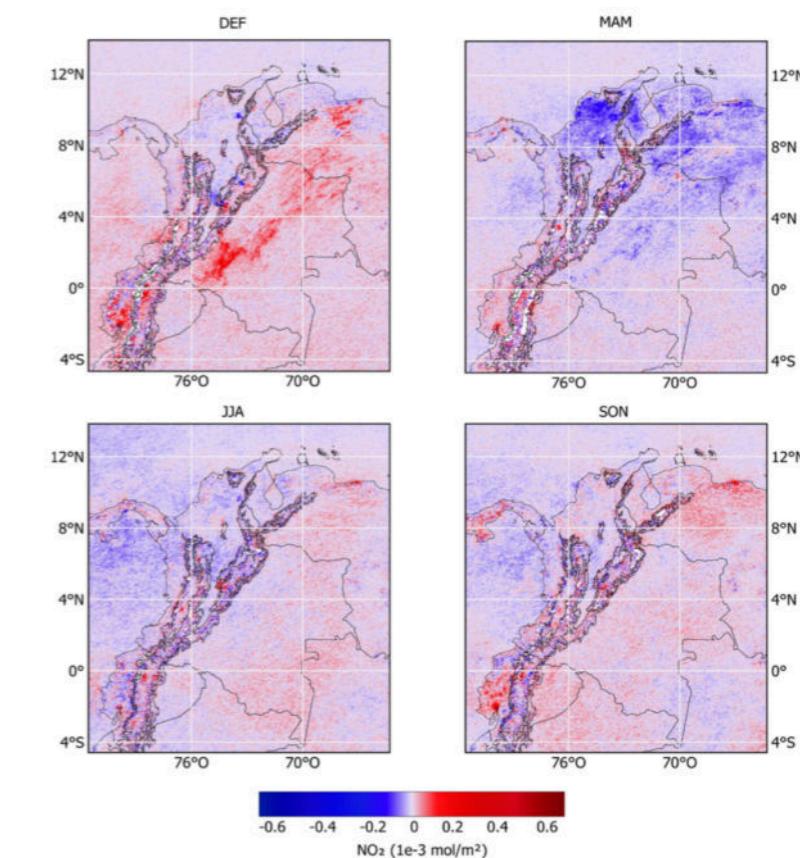


Fuente: elaboración propia.

el comportamiento fue muy similar a los años pasados, sugiriendo que en general DEF tuvo condiciones meteorológicas y de emisiones que incrementaron la concentración de estos contaminantes de forma significativa. Es importante mencionar que en JJA y en SON no se encontraron anomalías significativas, por lo que no son presentadas en este capítulo.

El NO_2 es un contaminante característico de las actividades industriales y de procesos de combustión, que se asocia con el tráfico vehicular y la quema de biomasa (Jion, 2023). Los grandes centros urbanos (Bogotá, Cali, Medellín, Cartagena y Barranquilla) resultan ser los focos principales donde se dan las concentraciones más altas de NO_2 durante las cuatro temporadas del año (Figura 9). En estos lugares las fuentes principales de NO_2 son los vehículos motorizados, las centrales eléctricas y las industrias, que generan emisiones significativas debido a la combustión de combustibles fósiles y procesos industriales a altas temperaturas (Hesterberg et al., 2009). Además, en las áreas urbanas, las condiciones

 **Figura 10.** Anomalías de concentración entre el promedio anual de 2022 con el promedio multianual del periodo 2019-2021 en $10^{-3} \text{ mol m}^{-2}$ para el NO_2 en cada temporada del año, (a) DEF, (b) MAM, (c) JJA y (d) SON



Fuente: elaboración propia.

de tráfico intenso y la concentración de fuentes de emisiones pueden agravar la presencia de NO_2 en el aire (Parra et al., 2009).

Se puede ver también un foco de este contaminante en el nororiente del país, departamento del Cesar, donde se llevan a cabo actividades mineras de extracción de carbón térmico (Agencia Nacional de Minería, 2019; Suárez Castaño et al., 2021). Este tipo de actividades usualmente presentan valores altos de emisiones de NO_2 debido al uso de maquinaria pesada, voladuras y procesos de fundición que liberan óxidos de nitrógeno a la atmósfera (Stachulak et al., 2020; Trenchev et al., 2023). En esta misma zona se evidencia una anomalía positiva de hasta $4 \mu\text{g m}^{-3}$ en la concentración de O_3 que se explica cuando se considera que las altas concentraciones de NO_2 y otros precursores en la atmósfera, junto con suficiente luz solar, pueden conducir a una mayor producción de ozono.

Las anomalías positivas en las concentraciones de NO_2 se presentan durante las cuatro temporadas en las zonas urbanas como Bogotá, D. C.,

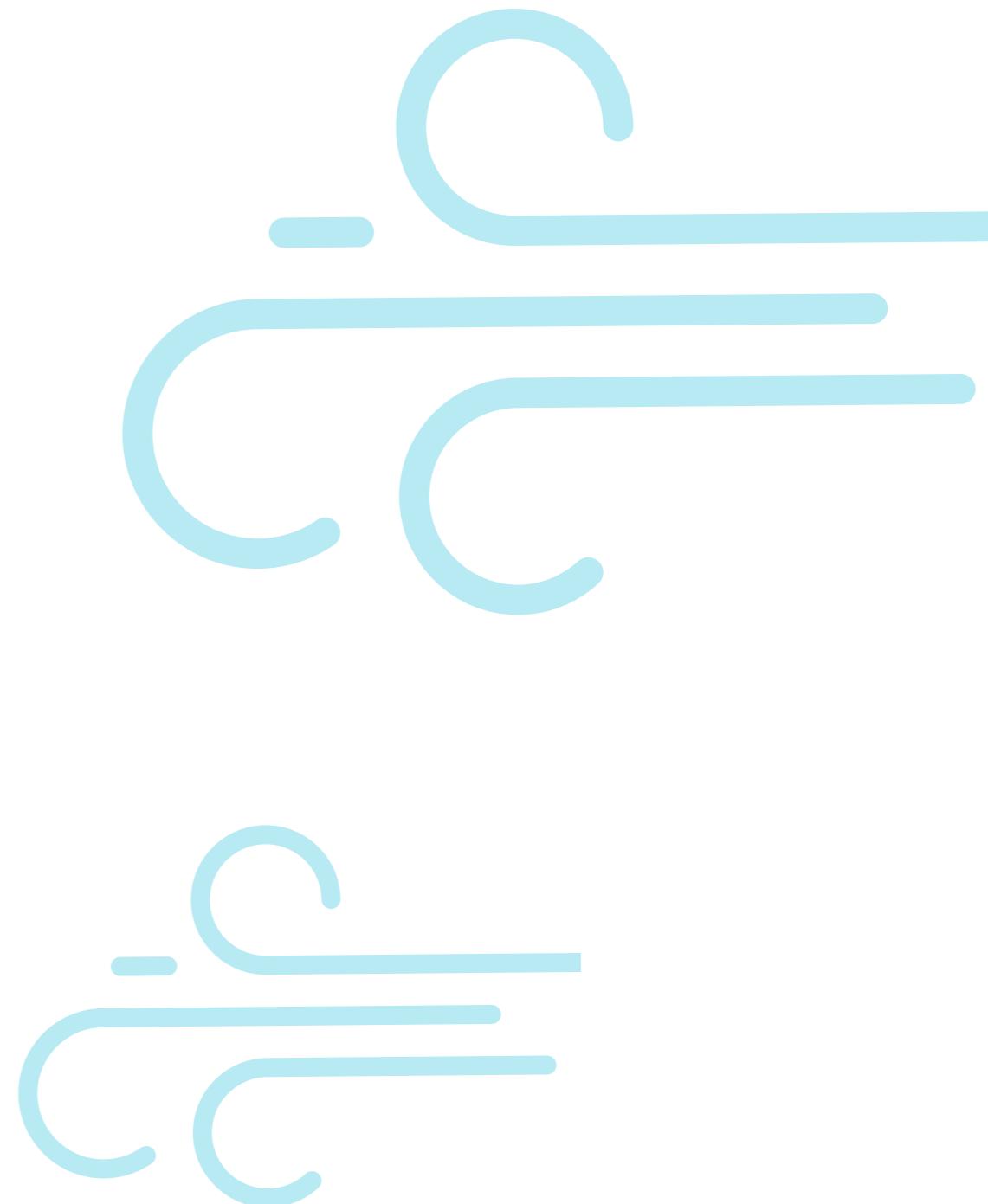
Medellín y Cali (Figura 10). No obstante, durante la temporada DEF son más evidentes en el centro y oriente del país, lo cual puede atribuirse a una baja precipitación y disminución en la velocidad del viento en esta temporada, ocasionando un aumento en la concentración de NO₂. Las anomalías positivas que se observan en DEF podrían atribuirse a los incendios forestales, sin embargo, esto deberá analizarse con más detalle en futuros estudios. Para el periodo de MAM predomina una anomalía negativa en el norte del país, que puede ser atribuida a variables

climáticas como viento y aumento en la precipitación que permitieron la mezcla y precipitación del contaminante. El comportamiento para JJA y SON es similar con anomalías positivas en el parte sur oriental del país y negativas en la parte noroccidental, comportamiento atribuido, como se ha mencionado previamente, a la cordillera que actúa como barrera física que interviene en la velocidad y dirección del viento que transporta la contaminación hacia el sur de Colombia (Figura 10).

1.2.3.3. Conclusiones

Los principales centros urbanos de Colombia, como Bogotá D. C., Cali y Medellín, han experimentado altas concentraciones de PM_{2.5} y PM₁₀ en los últimos años, debido tanto a fuentes móviles y fijas en las áreas metropolitanas de las ciudades como al transporte de material particulado proveniente de zonas con alta incidencia de incendios forestales. La región noroccidental de la Amazonía y el departamento de Arauca, en la frontera con Venezuela, presentan un aumento en la cantidad y magnitud de incendios forestales, lo que contribuye con el incremento de la concentración de PM_{2.5} en el centro del país. Por otro lado, el ozono presenta un comportamiento homogéneo en la cordillera de los Andes, con valores más altos en la región sur del Amazonas. El dióxido de azufre está asociado principalmente a la actividad volcánica del Parque Nacional Natural Los Nevados y al volcán Galeras, con mayores concentraciones en el sur de Colombia. Es importante destacar que en 2022 las anomalías muestran un incremento significativo en la concentración de los contaminantes en comparación con años anteriores, especialmente en la temporada de diciembre-enero-febrero, esto debido a factores como la deforestación, la quema agrícola y las condiciones meteorológicas. La implementación de prácticas sostenibles, así como medidas para reducir las emisiones y mejorar la calidad del aire siguen siendo fundamentales para mitigar los impactos ambientales y para la salud en el país.

La gobernanza del aire implica la gestión conjunta y las interacciones entre entidades gubernamentales, el sector privado y la sociedad civil con el propósito de progresar en la mejora de la calidad de este recurso natural. Este concepto abarca todos los procesos, mecanismos e instituciones mediante los cuales todos los actores ejercen influencia en las acciones destinadas a mejorar la gestión de la calidad del aire en un determinado territorio.



1.2.4. LÍNEA BASE DE TRAZADORES DE QUEMAS DE BIOMASA EN EL PM_{2.5} VALLE DE ABURRÁ, 2020

Organismo Internacional de Energía Atómica -OIEA-, Organización de las Naciones Unidas -ONU-, Ecopetrol y Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Politécnico Colombiano -JIC-

Capítulo de colaboración elaborado por Miryam Gómez¹, Kelly Patiño², Martha Herrera³ y Sandro González⁴

Objetivos:

Existe consenso global sobre los efectos negativos de la contaminación atmosférica sobre la salud, el ecosistema y el clima, con evidencia científica del incremento en la mortalidad y enfermedades respiratorias y cardiovasculares (1), (2), (3).

El Valle de Aburrá, región conurbada de 10 municipios con diferentes actividades antropogénicas y régimen de vientos de montaña y baja dispersión, ha presentado niveles que superan frecuentemente la norma colombiana del (PM_{2.5}), causados por fuentes móviles, fijas y externas como quemas de biomasa (4), (5). ONU -OIEA, AMVA y Ecopetrol han cofinanciado un estudio de caracterización con el objetivo de identificar trazadores biomasa y aporte al PM_{2.5}, como base para la toma de decisiones del Pigea y para Ecopetrol en su compromiso ambiental.

Materiales y métodos:

Se recolectaron 183 muestras (fracción OC1) y potasio (K), y 12 para Levoglucosan entre el 3 abril 2019 y el 10 de noviembre 2020. Se usaron equipos de bajo volumen PQ200 en filtros de cuarzo y teflón, y un equipo de alto volumen en filtros de cuarzo, con frecuencia tres (3) muestras semanales en una zona habitacional sin influencia directa de fuentes.

Los métodos aplicados fueron NIOSH 5040 (TOT), ICP-MS, cromatografía iónica (IC) (K) y GC-MS (6).

La visualización de puntos calientes y plumas de humo se realizó mediante el sensor MODIS (agua y tierra), columna AOD resoluciones 10 y 3 km.

Resultados:

La norma de calidad de aire diaria vigente para Colombia ($37 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se superó el 9 de abril y el 14 de noviembre de 2019, y el 7, 10, 16, 19, 22 y 25 de marzo 2020, sin registro de eventos locales. Se analizaron en imágenes satelitales algunos puntos calientes, AOD, entre 0.4 y 0.7 hacia el norte y retrotrayectorias de masas de aire aportantes al PM_{2.5}, desde las zonas norte y central del país.

Correlaciones directas entre trazadores (7), OC1, Levoglucosan y (K) y excedencias PM_{2.5} (MADS 2017) (Figura 11) permitieron declarar eventos asociados a quemas de biomasa, en especial el 25 de marzo de 2020, con visualización de plumas del oriente y norte de Colombia, coincidente con eventos de transporte durante la cuarentena (8).

El 14 de noviembre de 2019, se obtuvo una relación Levoglucosan/Manosan (L/M) de 25.9, similar a valores de quema de madera dura y desechos agrícolas, según reporte en el Amazonas brasileño (9), (10).

1. Grupo GHY GAM, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Medellín-Colombia.

2. Grupo GHY GAM, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Medellín-Colombia.

3. Centro de Innovación y Tecnología -ICP-, Ecopetrol Bucaramanga, Colombia.

4. Centro de Innovación y Tecnología -ICP-, Ecopetrol Bucaramanga, Colombia.

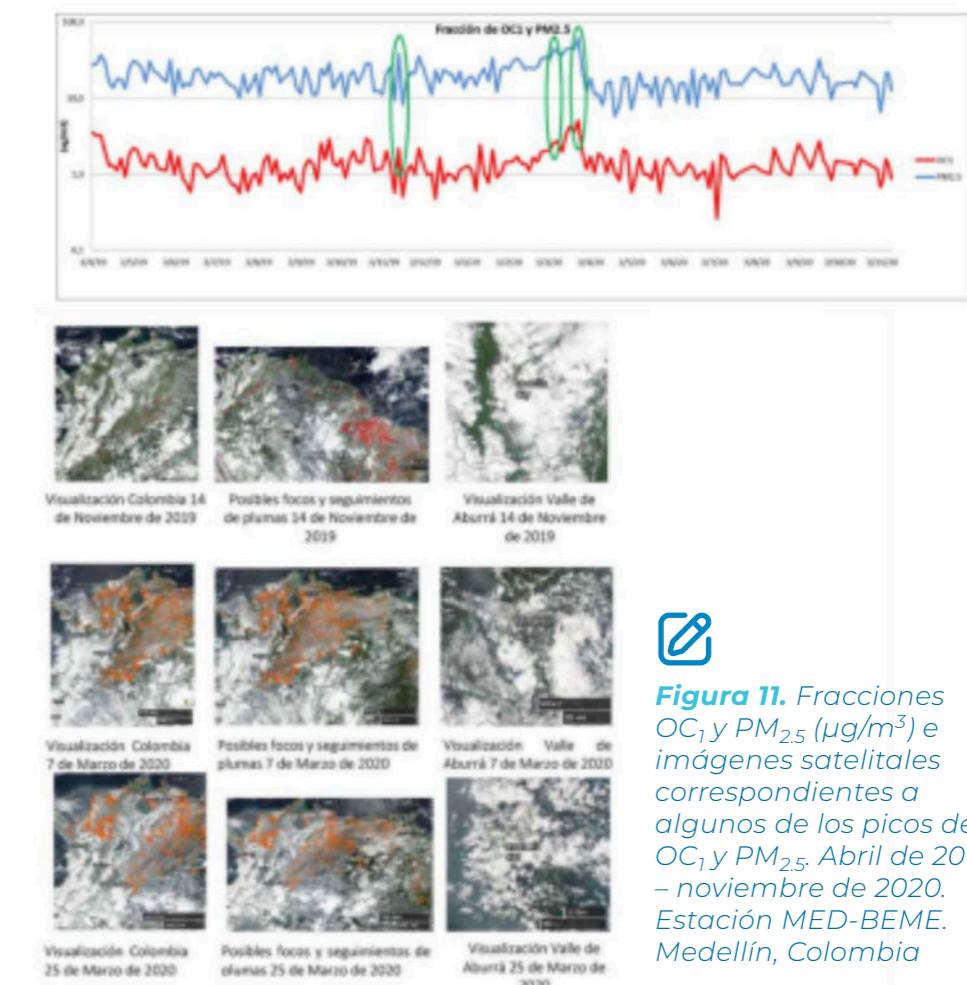


Figura 11. Fracciones OC₁ y PM_{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e imágenes satelitales correspondientes a algunos de los picos de OC₁ y PM_{2.5}. Abril de 2019 – noviembre de 2020. Estación MED-BEME, Medellín, Colombia

Fuente: Grupo GHY GAM (2020).

Conclusiones

Se identificó transporte de aerosoles de incendios desde la región norte del país y desde la Amazonía brasileña, reconociéndose la influencia de eventos regionales en diferentes períodos y aportando a un mayor conocimiento de fuentes externas de emisiones atmosféricas para el Valle de Aburrá.

Se avanzó en el análisis de Levoglucosan, no evaluado anteriormente en la región, el cual es considerado importante como trazador de fuentes de quema de biomasa.

Se dispone de línea base de trazadores de biomasa para trabajos futuros.

1.3. NORMATIVIDAD SOBRE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Colombia ha desarrollado a lo largo del tiempo una extensa trayectoria en la implementación de instrumentos normativos para la gestión y preservación de sus recursos naturales, especialmente en lo que concierne al recurso del aire. A nivel internacional, la Ley de Calidad del Aire de la EPA, promulgada en 1955 y aprobada en 1970, marcó el inicio de este proceso. En el contexto nacional, el país emprendió su camino legislativo con la Ley 23 de 1973, conocida como el Código de Recursos Naturales, la cual introdujo la posibilidad de imponer sanciones ante las evidencias de acciones que generaran contaminación.

En 1974, se formalizó el Código de Recursos Naturales y Protección del Medio Ambiente como reglamentación de la Ley 23 de 1973. Este código consideró la contaminación del aire como uno de los elementos que deterioraban el ambiente, e introdujo el concepto de calidad del aire como factor crucial para la salud humana, animal y vegetal, así como el control de emisiones y ruido.

La promulgación de la Ley 09 de 1979 estableció medidas sanitarias, enfatizó el aspecto de salud pública en el control de emisiones atmosféricas, y planteó la posibilidad de regular la circulación de fuentes móviles en función de las emisiones de ruido. Esta regulación fue parcialmente implementada a través del Decreto 02 de 1982.

Posteriormente, tras la promulgación de la Constitución Política de 1991, que reconoció el derecho a disfrutar de un ambiente sano, y la creación del Ministerio de Ambiente según la Ley 99 de 1993, que estableció las funciones de dicho ministerio y las Corporaciones Autónomas Regionales, así como de los municipios y distritos; en 1995 se estableció el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire, sentando los principios fundamentales para el monitoreo de la calidad del aire a nivel nacional. Finalizando la década de los 90, la Resolución 0619 de 1997 complementó el anterior decreto al establecer parcialmente los factores que requerían permisos de emisión atmosférica para fuentes fijas.

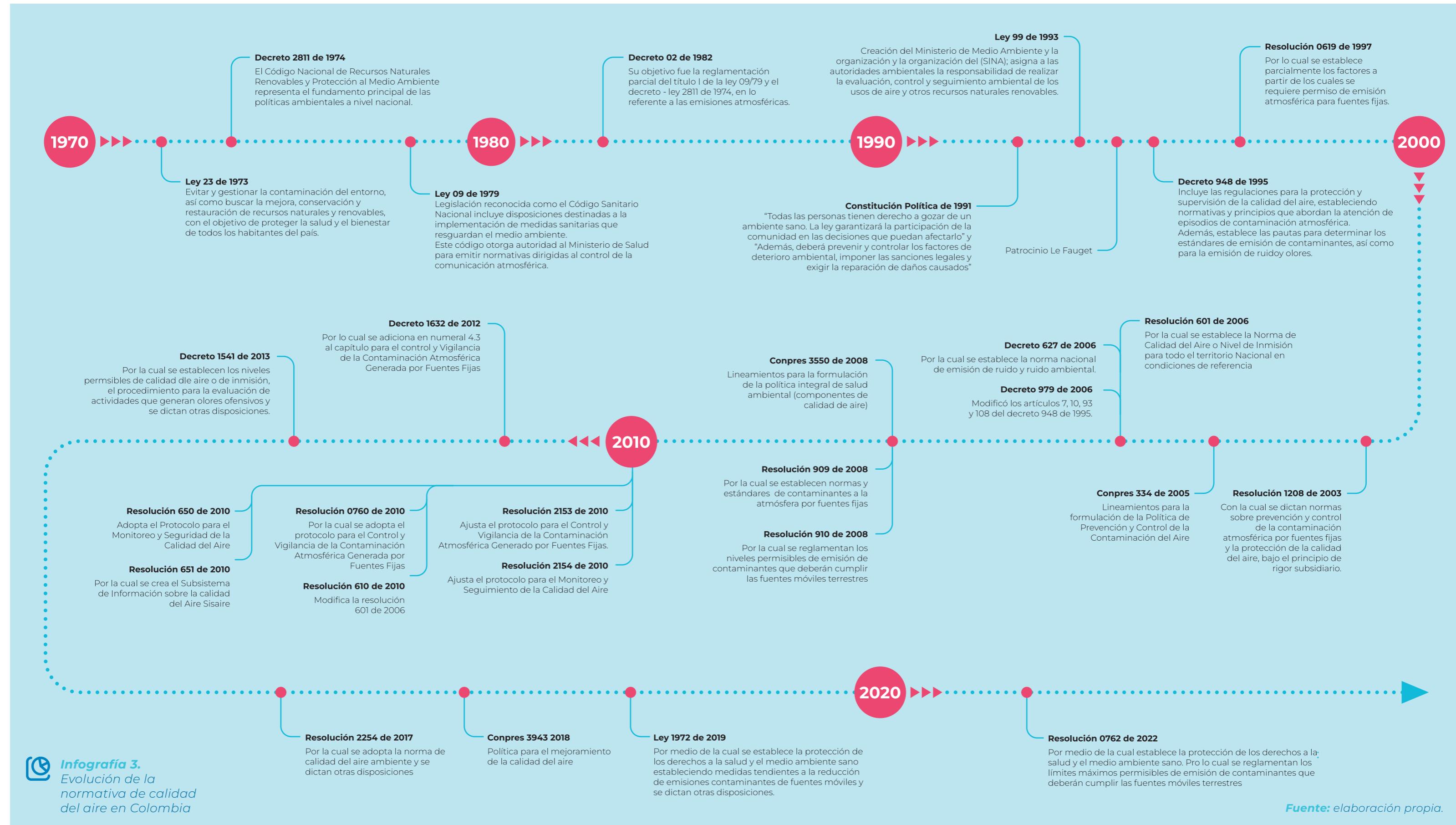
Entre el año 2000 y el año 2010, la normativa del país se vio fortalecida mediante la Resolución 1208 de 2003 que estableció normas para fuentes

fijas bajo el principio de rigor subsidiario, mientras que la Resolución 627 y el Decreto 979 abordaron la emisión de ruido y modificaron aspectos clave del Decreto 948 de 1995. También en 2005, la Resolución 601 estableció la Norma de Calidad del Aire para todo el territorio nacional. En 2008, la Resolución 0909 y la Resolución 910 fijaron normas y estándares para fuentes fijas y móviles, respectivamente. Es importante destacar que se emitieron dos (2) Conpes: el Conpes 3344 de 2005 que delineó lineamientos para la política de prevención y control de la contaminación del aire; y el Conpes 3550 de 2007 que trazó lineamientos para la política integral de salud ambiental, destacando la importancia de la calidad del aire, el agua y la seguridad química.

Desde el año 2010, Colombia ha visto una mejora legal en materia de protección del recurso aire: la Resolución 610 introdujo ajustes a la Resolución 601 de 2006, mientras que la Resolución 651 estableció el Subsistema de Información sobre la Calidad del Aire -Sisaire-, lo cual permitió brindar una estructura organizada para gestionar información crucial. La Resolución 650 adoptó el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, y la Resolución 2154 realizó ajustes a dicho protocolo. En 2017, la Resolución 2254 adoptó la norma de calidad del aire ambiente, siendo la normativa legal vigente. Es importante destacar la resolución 1541 de 2013 en materia de olores ofensivos. El Conpes 3943 de 2018 delineó la Política para el Mejoramiento de la Calidad del Aire. Estas medidas y lineamientos son cruciales para la regulación y supervisión de aspectos clave relacionados con la calidad del aire y la contaminación atmosférica en Colombia.

Finalmente, se resaltan dos normativas que entraron en rigor en 2019 y 2022 en materia de regulación de las fuentes móviles, que son la Ley 1972 de 2019 promulgada para proteger los derechos a la salud y al medio ambiente, y establecer medidas orientadas a reducir las emisiones contaminantes de fuentes móviles, junto con otras disposiciones. Por su parte, la Resolución 0762, en concordancia con la Ley 1972, reglamenta los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes para las fuentes móviles terrestres, especificando disposiciones del Decreto 1076 de 2015. Toda la evolución anteriormente mencionada se condensa en la infografía 3.







Fuente: SDA (2022).

Los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire o redes de monitoreo conforman sistemas dinámicos, que cambian año tras año modernizando su tecnología de medición para entregar datos de manera más oportuna, que sirvan para tomar las medidas necesarias en caso de que se llegaran a presentar altas concentraciones de contaminantes que pudieran afectar la salud de la población.

En la Tabla 1, se presentan los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire que operaron durante el año 2022, y sus características según la tecnología empleada; así mismo se detalla el número de estaciones operativas, de acuerdo con la respectiva tecnología de medición.

 **Tabla 1.** SVCA en Colombia, de acuerdo con la tecnología de medición, año 2022

Autoridad Ambiental	SVCA según tecnología	No. estaciones automáticas	No. estaciones manuales	No. estaciones híbridas	Total estaciones
AMVA	Híbrido	26	6	5	37
CAM	Manual	-	2	-	2
CAR	Automático	23	-	-	23
Cardique	Híbrido	1	4	0	5
Carder	Automático	-	3	2	5
CDMB	Automático	4	-	-	4
Corantioquia	Automático	13	-	-	13
Cormacarena	Automático	2	-	-	2
Cornare	Híbrido	1	-	8	9
Corpamag	Híbrido	3	8	-	11
Corpoboyacá	Automático	7	-	-	7
Corpocaldas	Híbrido	-	8	1	9
Corpocesar	Manual	-	16	-	16
Corpoguajira	Híbrido	2	8	-	10
Corponor	Manual	-	3	-	3
Cortolima	Manual	-	2	-	2
CRC	Automático	2	-	-	2
CRQ	Manual	-	2	-	2
CVC	Híbrido	8	1	-	9
CVS	Híbrido	-	5	3	8
Dagma	Automático	9	-	-	9
EPA Barranquilla	Automático	4	-	-	4
EPA Cartagena	Automático	2	-	-	2
SDA	Automático	19	-	-	19

Fuente: Ideam (2022).

1.4. EL ROL DEL IDEAM EN LA GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -Ideam- es un establecimiento público de carácter nacional adscrito al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, cuyas funciones han sido asignadas a través de la Ley 99 de 1993 y los Decretos 291 de 2004 y 1277 de 1994, compilados en el Decreto 1076 de 2015.

El Instituto tiene como misión apoyar técnica y científicamente al Sistema Nacional Ambiental -SINA-, generando conocimiento, produciendo información confiable, consistente y oportuna sobre el estado y las dinámicas de los recursos naturales y del ambiente, que facilite la definición y ajustes de las políticas ambientales y la toma de decisiones por parte de los sectores público, privado y la ciudadanía en general.

El Ideam es la entidad encargada de recolectar, consolidar y mantener actualizada la información sobre la calidad del aire, y efectuar seguimiento constante de los fenómenos de contaminación y degradación de este recurso en el territorio nacional (Infografía 4).

Infografía 4. El rol del Ideam en la gestión de la calidad del aire del país



Apoya a las autoridades ambientales

Fomenta el fortalecimiento de capacidades de las autoridades ambientales para la operación de sistemas de vigilancia, validación y cierre de información al subsistema de información sobre calidad del aire Sisaire.



Administra el subsistema de información sobre calidad del aire - Sisaire

El Ideam acopia y consolida la información sobre calidad del aire, ruido y meteorología reportada por los sistemas de vigilancia de calidad de aire gestionados por las autoridades ambientales y garantiza su acceso para la formulación y ajustes de políticas y estrategias, investigaciones y demás fines de la comunidad.



Lidera la operación estadística EMSCA

El Ideam ejecuta la operación “Estadísticas de monitoreo y seguimiento de calidad del aire (EMSCA)” a partir de la cual se elabora el Informe de Estado de la Calidad del Aire en Colombia y se publican los indicadores nacionales de cumplimiento que son insumos indispensables para la gestión del recurso aire a nivel nacional y regional.



Apoya el seguimiento de fenómenos regionales de contaminación atmosférica

El Ideam ha elaborado boletines especiales de calidad del aire en casos declarados como situaciones de emergencia, contingencias y/o cambios de estado de alerta con fenómenos de origen natural o antropogénico, con posible impacto en la calidad del aire y la salud humana en varias regiones del territorio nacional.



Acredita los laboratorios

El Ideam evalúa la norma NTC-ISO/IEC 10725 a los sistemas de vigilancia, laboratorios y organizaciones privadas que realizan el muestreo y/o análisis físico-químico o microbiológico de la calidad ambiental de los recursos naturales en el país incluyendo el recurso aire (calidad del aire, ruido, fuentes fijas y olores molestos), y de acuerdo de cumplimiento otorga y emite las resoluciones de acreditación correspondiente.

DOCUMENTOS

SISAIRE

INDICADORES

BOLETINES

ACREDITACIÓN

1.5. NORMATIVIDAD APLICABLE

En líneas generales, las leyes en Colombia relacionadas con la calidad del aire y las emisiones se han diseñado con el propósito de salvaguardar tanto la salud humana como el ambiente. Este proceso se ha estructurado gradualmente, considerando la capacidad técnica, tecnológica y económica del país, dado que estos aspectos deben formar parte integral de la elaboración de regulaciones técnicas. Además del desarrollo normativo y político, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible se dedica a establecer estrategias coordinadas, eficaces y justas para prevenir y controlar la contaminación del aire desde diferentes ámbitos.

1.5.1. RESOLUCIÓN 2254 DE 2017

Considerada esta situación, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible emitió el 1 de noviembre de 2017 la Resolución 2254. Esta resolución fija los estándares de calidad del aire y establece disposiciones para su gestión en todo el país. El propósito principal es asegurar un entorno saludable y reducir al mínimo el peligro para la salud humana que pueda surgir debido a la exposición a contaminantes atmosféricos.

 **Tabla 2.** Normatividad de calidad del aire en Colombia versus directrices mundiales de la Organización Mundial de la Salud

Contaminante	Tiempo de exposición	Res. 2254/17		OMS				Nivel de las directrices
		Vigente (A partir de 2018)	A partir de 2030	Objetivo intermedio 2	Objetivo Intermedio 3	Objetivo Intermedio 4		
μg/m ³								
PM₁₀	Anual	50	30	50	30	20	15	
	24 horas	75	75	100	75	50	45	
PM_{2,5}	Anual	25	15	25	15	10	5	
	24 horas	37	37	50	37,5	25	15	
SO₂	24 horas	50	20	50	-	-	40	
	1 hora	100	-	-	-	-	-	
NO₂	Anual	60	40	30	20	-	10	
	1 hora	200	-	50	-	-	25	
O₃	8 horas	100	-	120	-	-	100	
CO	8 horas	5.000	-	-	-	-	-	
	1 hora	35.000	-	-	-	-	-	
	24 horas	-	-	-	-	-	4.000	

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2017); Organización Mundial de la Salud (2021).

En términos de comparación normativa, se siguen las pautas delineadas en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire (aprobado a través de la Resolución 650 de 2010 y modificado por la Resolución 2154 de 2010). En lo que respecta a la comparación con la norma anual, se emplea el promedio aritmético de los promedios diarios de concentración. Tanto para estaciones manuales como automáticas se debe asegurar que la cantidad de datos obtenidos cumpla con ciertos requisitos específicos, como el mínimo de 91 datos para los equipos manuales y 274 datos para el muestreo automático durante un año de monitoreo continuo.

Con respecto a la comparación con la norma de 24 horas, se calcula el promedio de conjuntos de 24 datos horarios de un mismo día, y luego se ajusta a condiciones de referencia para su comparación con la norma nacional.

En el caso de la comparación de la norma establecida para tiempos de exposición de 1 hora y 8 horas, el monitoreo de los contaminantes debe realizarse mediante analizadores automáticos, ya que solo así es posible obtener resultados de concentración horaria. En este sentido, se siguen ciertas pautas específicas: para la norma de 1 hora los datos horarios de concentración informados por el equipo se ajustan a condiciones de referencia y luego se comparan con la norma nacional; para la norma de 8 horas se calcula la media móvil para grupos de 8 datos horarios y se compara el valor más alto con la norma nacional para períodos de tiempo equivalentes a 8 horas.

La Resolución 2254 del año 2017 considera las sugerencias emitidas por la Organización Mundial de la Salud -OMS- en forma de niveles directrices, basadas en evidencia y descritas mediante la curva de la función concentración-respuesta en relación con aspectos fundamentales relacionados con la salud.



Índice de calidad del aire (ICA):

El Índice de Calidad del Aire -ICA- permite relacionar y clasificar los niveles de exposición de contaminantes críticos obtenidos a través de estaciones de monitoreo con posibles impactos negativos en la salud de la población expuesta. El ICA, una medida sin dimensiones en una escala del 0 al 500, se asocia con un color y una categoría que refleja, de manera secuencial y relevante, los posibles efectos en la salud, de menor a mayor.

En Colombia la resolución 2254 de 2017 regula el ICA, exponiendo los puntos de corte para la ponderación y categorización de los seis contaminantes críticos, en función de los posibles impactos en la salud humana. Estos detalles se presentan de manera minuciosa en la Tabla 3.

 **Tabla 3.** Puntos de corte del Índice de Calidad del Aire -ICA-

Índice de Calidad del Aire - Categoría	Puntos de Corte del ICA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						
	PM ₁₀ 24 horas	PM _{2,5} 24 horas	CO 8 horas	SO ₂ 1 hora	NO ₂ 1 hora	O ₃ 8 horas	O ₃ ⁵ 1 hora
Buena	0 - 54	0 - 12	0 - 5094	0 - 93	0 - 100	0 - 106	--
Aceptable	55 - 154	13 - 37	5095 - 10819	94 - 197	101 - 189	107 - 138	--
Dañina a la salud de grupos sensibles	155 - 254	38 - 55	10820 - 14254	198 - 486	190 - 677	139 - 167	245 - 323
Dañina para la salud	255 - 354	56 - 150	14255 - 17688	487 - 797	678 - 1221	168 - 207	324 - 401
Muy dañina para la salud	355 - 424	151 - 250	17689 - 34862	798 - 1583	1222 - 2349	208 - 393	402 - 794
Peligrosa	425 - 604	251 - 500	34863 - 57703	1584 - 2629	2350 - 3853	394 ⁶	795 - 1185

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2017).

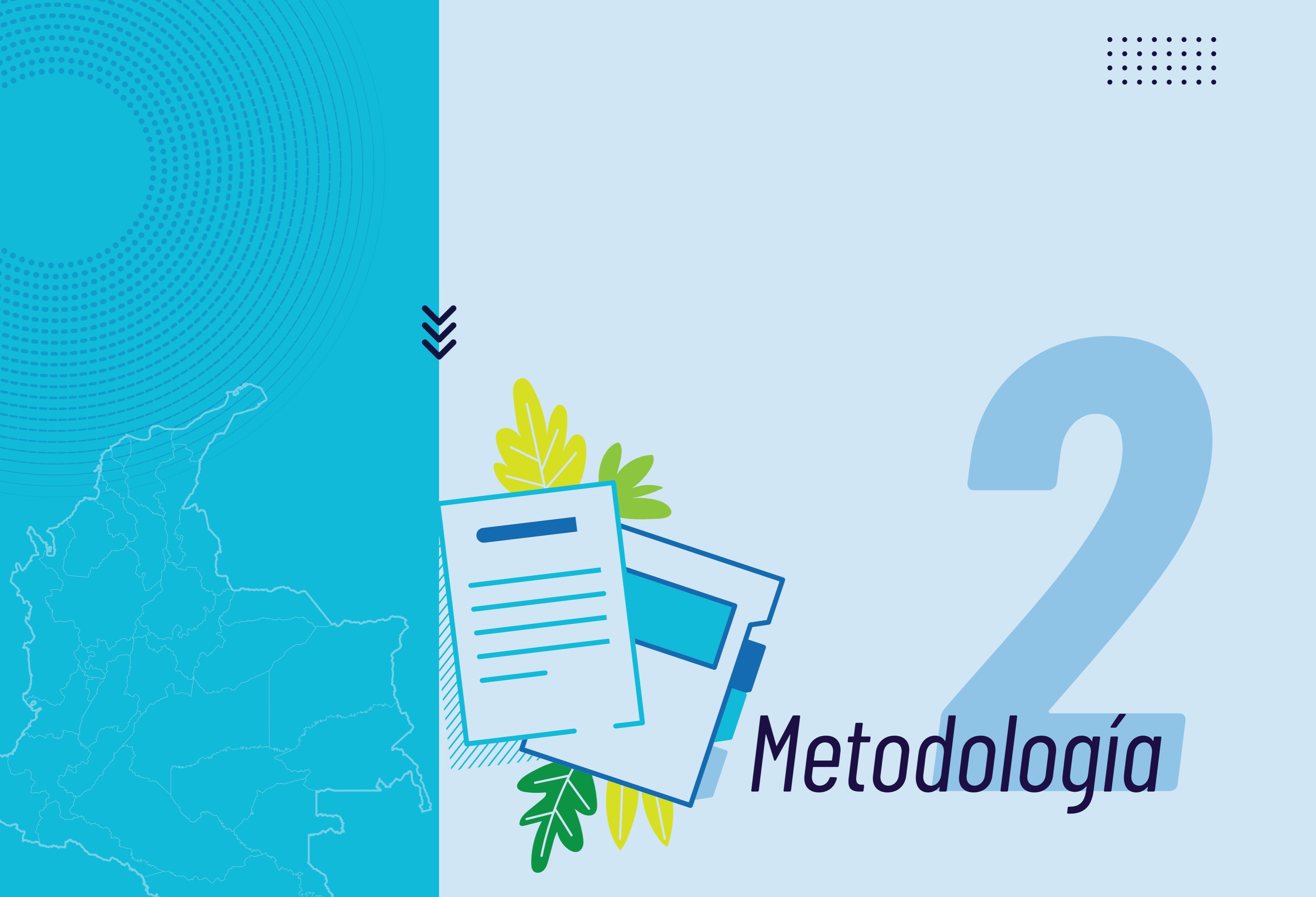
5. En general, se requiere que en todas las zonas de monitoreo se reporte el ICA de Ozono de 8 horas. Sin embargo, hay un pequeño número de áreas donde un ICA basado en valores de Ozono de 1 hora sería más precautorio (estaciones ubicadas en zonas de alto tráfico vehicular en épocas de intensa radiación solar). En estos casos, además de calcular el valor del índice de Ozono de 8 horas, se debe calcular ICA de Ozono de 1 hora y reportar el más alto de los dos.

6. El ICA de Ozono de 8 horas no será calculado para concentraciones mayores a 394 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Para valores superiores se realiza únicamente el cálculo de ICA de Ozono para 1 hora.

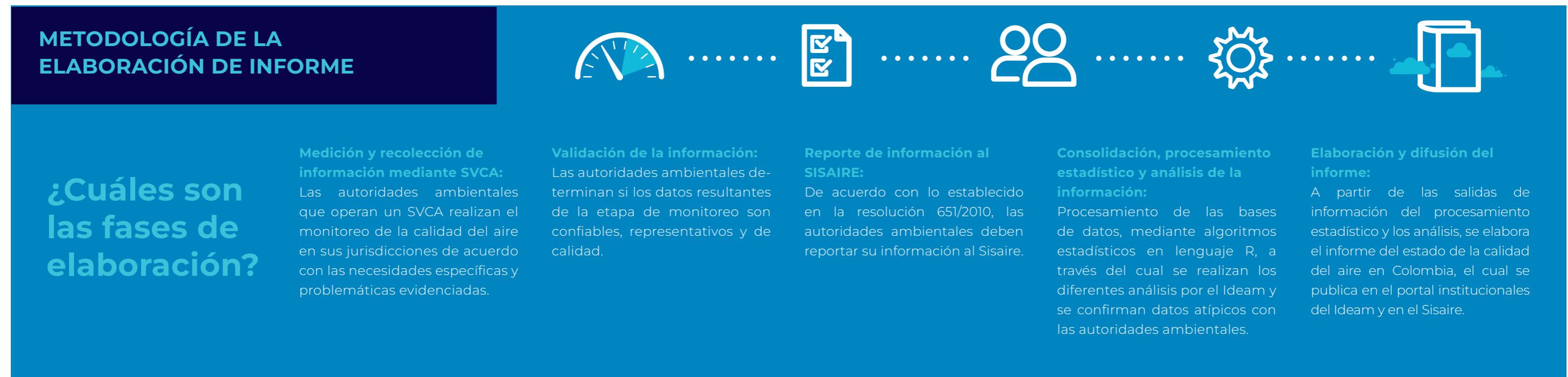
ICA Categoría	Efectos a la salud
 Buena 0 - 50	La contaminación atmosférica supone un riesgo bajo para la salud.
 Aceptable 51 - 100	Posibles síntomas respiratorios en grupos poblacionales sensibles.
 Aceptable 101 - 150	Los grupos poblacionales sensibles pueden presentar efectos par a la salud. Las personas con enfermedades cardíacas o pulmonares, niños, adultos mayores y las que constantemente realizan actividad física al aire libre, deben reducir su exposición a los contaminantes del aire.
 Dañina a la salud de grupos sensibles 151 - 200	Todos los individuos pueden comenzar a experimentar efectos sobre la salud. Los grupos sensibles pueden experimentar efectos más graves para la salud.
 Dañina para la salud 201 - 300	Estado de alerta que significa que todos pueden experimentar efectos más graves para la salud.
 Muy dañina para la salud 301 - 500	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: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2017).

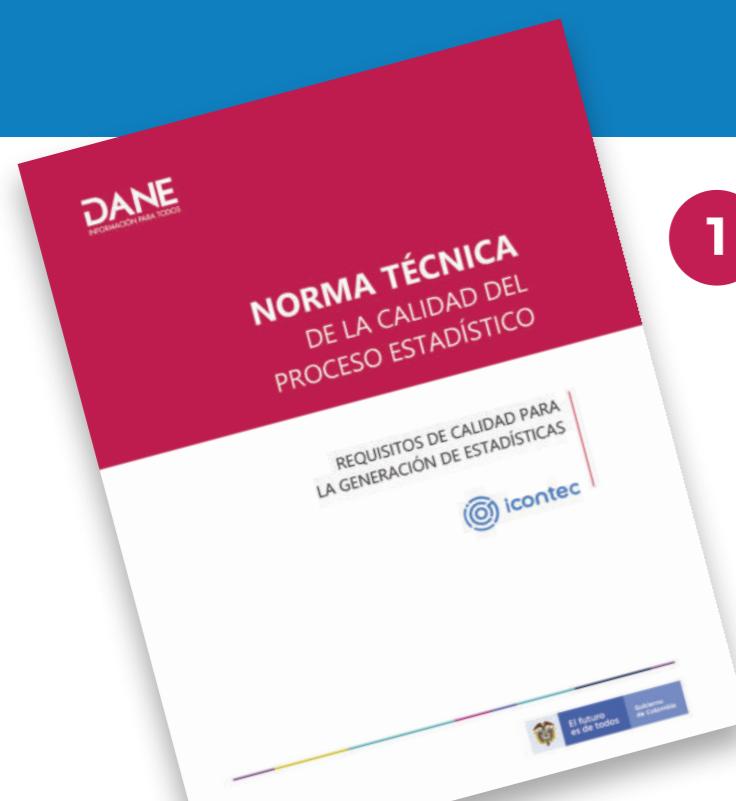
 Para más información acerca del ICA consulte aquí:
http://sisaire.ideam.gov.co/ideam-sisaire-web/aprendizaje.xhtml?de=indice_calidad



Metodología


Infografía 5. Metodología elaboración del informe del estado de la calidad del aire


Estas fases se enmarcan en los requerimientos de la Norma Técnica de la Calidad del Proceso Estadístico del DANE, NTCPE 1000, que garantizan la calidad y confiabilidad de cada fase y de los resultados obtenidos.



- 1 **Detección y análisis de necesidades:**
La entidad debe identificar, recolectar y analizar las necesidades de información estadísticas para formular los objetivos y planear la operación estadística.
- 2 **Diseño:**
Es necesario determinar el diseño de las fases del proceso estadístico: temático, estadístico, del procesamiento, etc.
- 3 **Construcción:**
La entidad debe disponer de las herramientas e instrumentos necesarios para el desarrollo de la operación estadística, de acuerdo con lo diseñado.
- 4 **Recolección:**
La entidad debe realizar la recolección o acopio de los datos de acuerdo con lo diseñado y lo construido.
- 5 **Procesamiento:**
La operación estadística debe realizar el procesamiento de los datos recolectados o acopiados de acuerdo con lo diseñado.
- 6 **Análisis:**
La operación estadística debe garantizar la consistencia de los resultados y documentar las limitaciones, teniendo en cuenta las medidas de calidad implementadas.
- 7 **Difusión:**
La entidad debe realizar la difusión de la información estadística cada vez que se produzca, de acuerdo con el calendario de difusión, y mantenerla disponible para consulta.
- 8 **Evaluación desempeño:**
La entidad debe realizar la evaluación del proceso estadístico de acuerdo con el diseño.
- 9 **Mejora:**
La entidad debe determinar y seleccionar las oportunidades de mejora e implementar las acciones necesarias para cumplir con los requisitos de la NTCPE 1000.

Fuente: elaboración propia.



Estado de los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire

En Colombia, la responsabilidad de monitorear, evaluar y hacer seguimiento de los fenómenos de contaminación del aire recae en las Corporaciones Autónomas Regionales y las autoridades ambientales de los grandes centros urbanos. Estas entidades también son responsables de definir e implementar programas regionales para prevenir, controlar y mitigar los impactos de la contaminación del aire, en colaboración con los municipios y distritos, como se estipula en el decreto 1076 de 2015 en su artículo 2.2.5.1.6.2, literal d.

Las concentraciones de contaminantes atmosféricos se monitorean mediante Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire, cuyos criterios técnicos de diseño y operación se establecen en el "Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire". Este protocolo fue adoptado mediante la resolución 650 de 2010 y modificado mediante la resolución 2154 de 2010. Con base en estos lineamientos, las autoridades ambientales en sus respectivas jurisdicciones han llevado a cabo el monitoreo de la calidad del aire mediante diversos tipos de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA).

SVCA Manuales

Los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA) se componen íntegramente de equipos manuales, que incluyen muestreadores y equipos semiautomáticos. Los muestreadores son dispositivos exclusivamente utilizados para recopilar muestras, las cuales posteriormente se envían al laboratorio para llevar a cabo los análisis fisicoquímicos pertinentes y cuantificar la presencia de los contaminantes específicos.

Los sistemas de vigilancia de calidad del aire manuales se distinguen por depender de un laboratorio para el análisis de las muestras recopiladas. Asimismo, requieren una rutina para la recolección de muestras de acuerdo con una programación establecida previamente.

SVCA Automáticos

Estos SVCA están compuestos completamente por equipos y sistemas automáticos. Estos sistemas incluyen analizadores que operan de forma automática y, a diferencia de los muestreadores, no solo recopilan la muestra, sino que internamente cuentan con los componentes necesarios para determinar las concentraciones de cada contaminante de manera específica mediante procedimientos como fluorescencia UV, quimioluminiscencia, absorción infrarroja, absorción de rayos beta y microbalanza.

Estos sistemas de vigilancia de calidad del aire proporcionan datos en tiempo real, lo que permite tomar medidas inmediatas en caso de detectarse concentraciones elevadas de algún contaminante.

SVCA Híbridos

Los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA) Híbridos son aquellos formados por la combinación de equipos manuales y automáticos. Estos sistemas se distinguen por aprovechar las ventajas tanto de los sistemas manuales como de los automáticos.

Al combinar estas tecnologías es posible optimizar costos y ampliar la cobertura del sistema, aprovechando la alta precisión y prontitud de los métodos automáticos junto con los costos más bajos asociados a los métodos manuales.

Fuente: Ministerio de Ambiente (2010).

Este capítulo presenta el estado y la evolución de los distintos Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA) operados por las autoridades ambientales del país. Se incluyen cifras históricas significativas, como el número de SVCA, el número de estaciones de monitoreo según el tipo de estación, el número de registros en el Sisaire, los contaminantes monitoreados, las tecnologías de monitoreo utilizadas y la representatividad de la información. Estas cifras proporcionan información crucial para comprender la evolución del monitoreo de la calidad del aire e identificar posibles áreas de mejora. Además, se presentan las necesidades de monitoreo identificadas en los diversos municipios del país.



CAR (2022). <https://www.car.gov.co/>

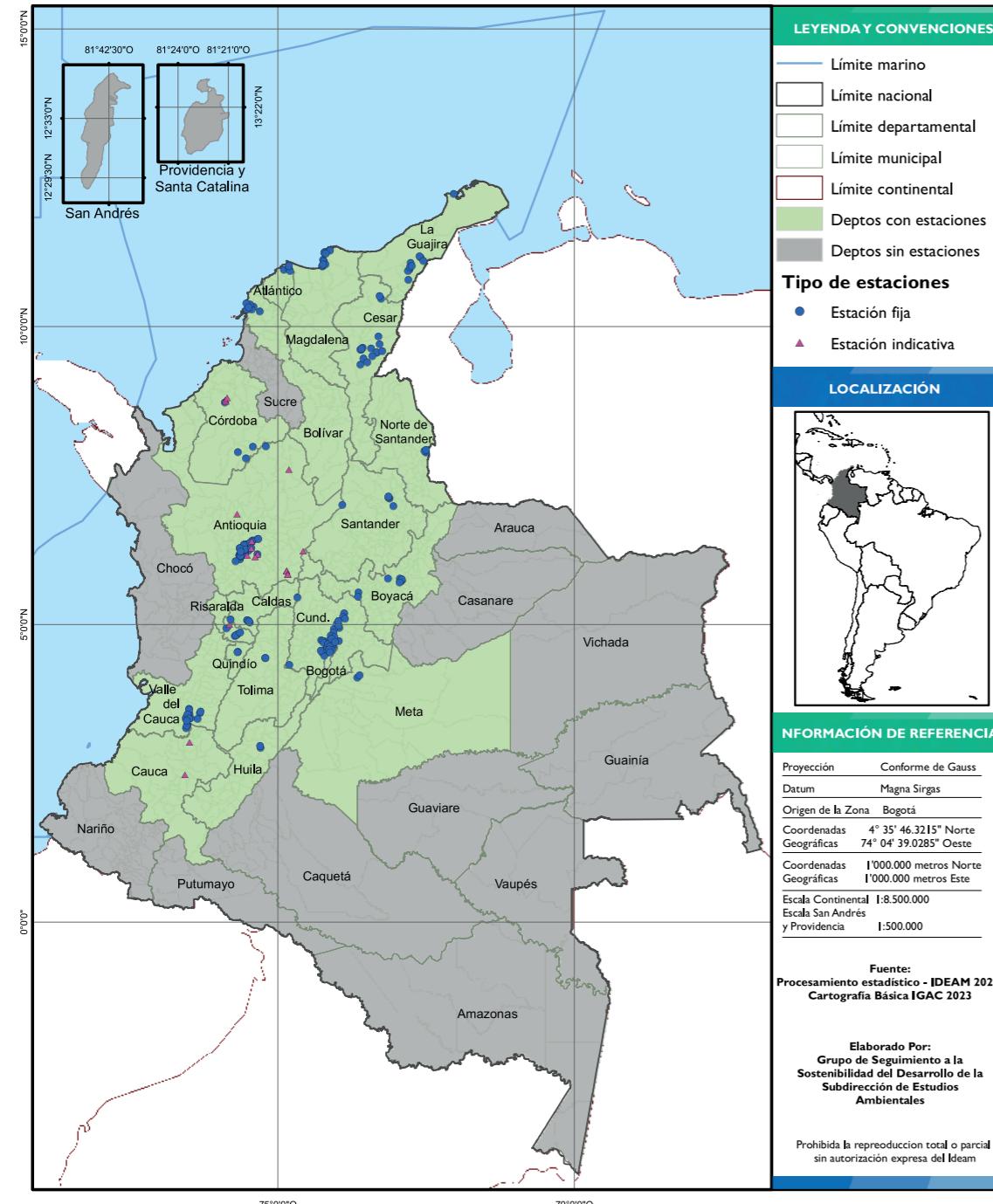


Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES IDEAM

República de Colombia

CALIDAD DE AIRE EN COLOMBIA ESTACIONES DE MONITOREO 2022



Infografía 6. Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire y estaciones de monitoreo, año 2022

24
Sistemas de
vigilancia de la
calidad del aire

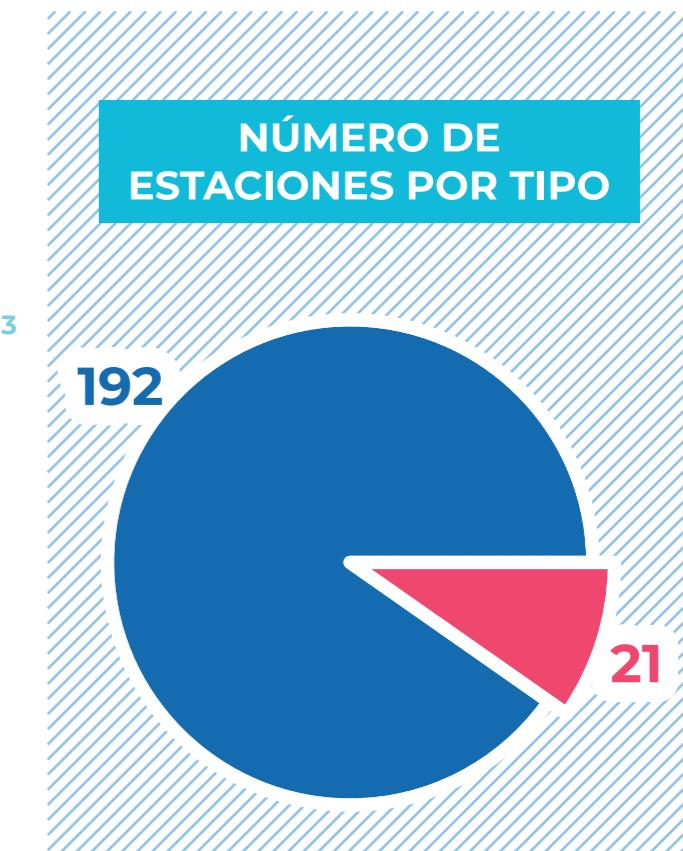
20
Departamentos

213
Estaciones de
monitoreo

88
Municipios

Estación Fija: Monitorea permanentemente en el lugar de su ubicación, permitiendo conocer durante todo el año las variaciones de cada contaminante y sus tendencias.

Estación Indicativa: Monitorea durante un periodo mínimo de 18 días (por campañas), con el fin de conocer afectaciones puntuales o sitios con posibles afectaciones en la calidad del aire.



Durante el año 2022, las autoridades ambientales del país operaron un total de 24 SVCA, que contaron con **213 estaciones de monitoreo**, de las cuales **192 fueron fijas y 21 indicativas**.

La cobertura espacial de dichos SVCA abarcó **20 departamentos y 88 municipios**.

3.1. EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE VIGILANCIA DELA CALIDAD DEL AIRE

3.1.1. SISTEMAS DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE, ESTACIONES DE MONITOREO Y REGISTROS EN SISAIRE

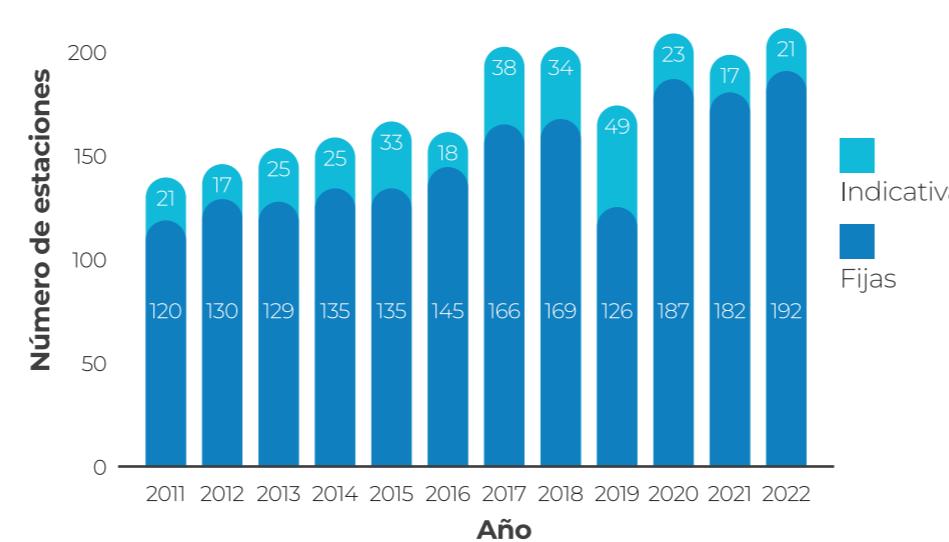
 **Figura 12.** Evolución del número de sistemas de vigilancia de la calidad de aire, años 2011-2022



Fuente: Ideam (2022).

Según la figura 12, se observó un aumento constante en el número de sistemas de monitoreo de calidad del aire a nivel nacional de 2012 a 2018, indicando un fortalecimiento en la supervisión de este recurso en el país. Sin embargo, entre 2019 y 2021 se registró una reducción en el número de sistemas de monitoreo activos, siendo 2021 el año con menos sistemas activos, posiblemente debido a dificultades logísticas y presupuestarias causadas por la atención de la pandemia del COVID-19. Finalmente, en 2022 se observó un ligero aumento en el número de sistemas de monitoreo activos, volviendo al nivel registrado en 2019, antes de la influencia del COVID-19.

 **Figura 13.** Evolución del número de estaciones fijas e indicativas, años 2011-2022

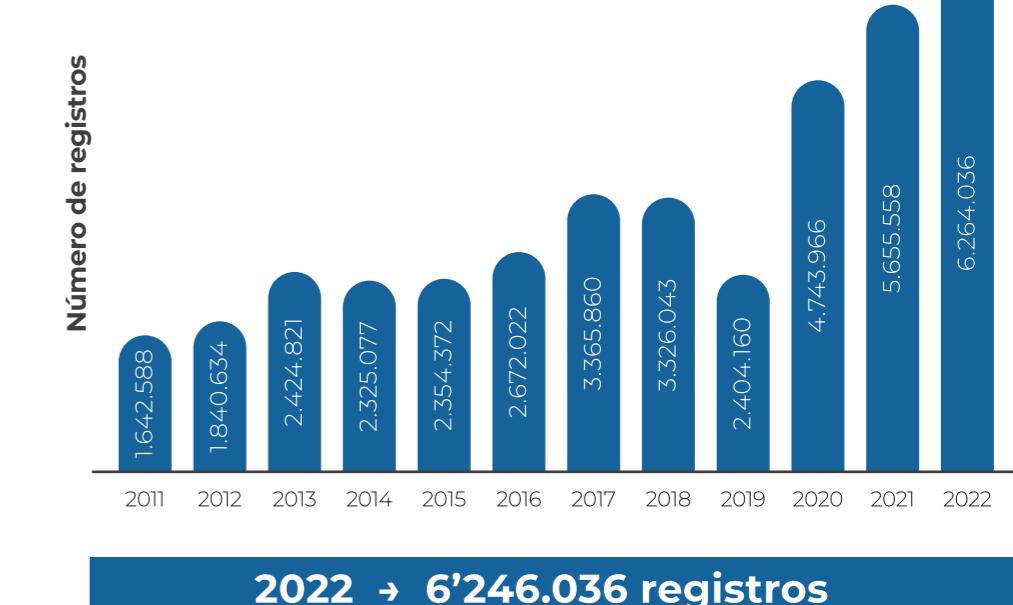


Fuente: Ideam (2022).

Según la figura 13, en los últimos doce años el monitoreo de la calidad del aire ha estado dominado por estaciones de monitoreo fijas en comparación con el monitoreo indicativo. Además, ha habido un aumento gradual en el número de estaciones de monitoreo fijas. No obstante, en 2022 hubo un aumento tanto en el número de estaciones de monitoreo fijas como indicativas en comparación con 2021, posiblemente como resultado de los esfuerzos de fortalecimiento por parte de entidades territoriales y autoridades ambientales después de las posibles interrupciones causadas por la pandemia del COVID-19 entre 2020 y 2021.

Para garantizar la continuidad en la generación de información para la toma de decisiones en salud pública, se recomienda que los sistemas de vigilancia sigan fortaleciendo la transición hacia el monitoreo fijo o permanente.

 **Figura 14.** Evolución del número de registros reportados al Sisaire, años 2011-2022



Fuente: Ideam (2022).

La figura 14 revela que, en 2022, por tercer año consecutivo se alcanzó el número más alto de registros reportados al Sisaire desde 2011. Además, se observó un aumento del 11 % en comparación con el año anterior en el número de registros reportados por las autoridades ambientales al Sisaire. Este incremento puede ser atribuido a una mayor disposición de las autoridades ambientales para cargar información de manera oportuna al Sisaire, así como a un mayor control y supervisión por parte del Ideam en su papel como responsable del Subsistema de Información sobre Calidad del Aire (Sisaire).

3.1.2. TECNOLOGÍAS DE MONITOREO EMPLEADAS



Corpocaldas (2022).

Existen tres tipos de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire que pueden ser utilizados para la medición de la concentración de contaminantes atmosféricos:

- SVCA manuales:** requieren la toma de muestra y posterior análisis en laboratorio para la determinación analítica de los contaminantes.
- SVCA automáticos:** cuentan con mecanismos internos, que permiten la determinación directa de contaminantes, son capaces de proveer información en tiempo casi real.
- SVCA híbridos:** combinan las dos tecnologías de medición: manuales y automáticas.

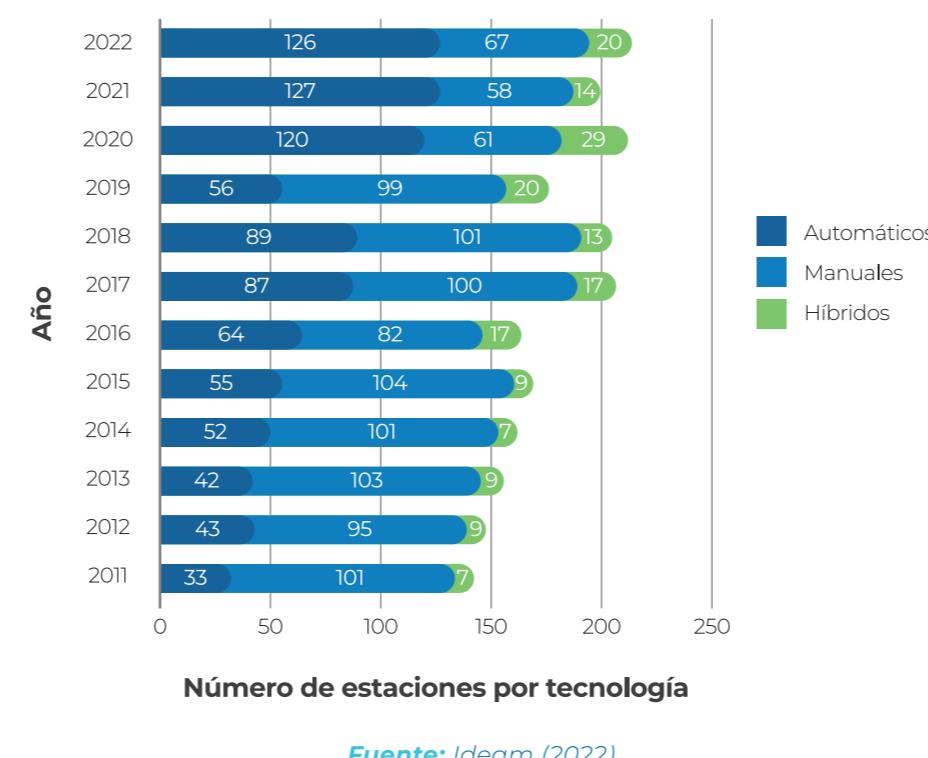
Como se muestra en la Figura 16, en 2022, las entidades ambientales con mayor cantidad de estaciones equipadas con tecnologías automáticas incluyen el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, CAR Cundinamarca y SDA de Bogotá. Es importante mencionar que estas entidades disponen de sistemas de transmisión de datos casi en tiempo real y de alertas tempranas accesibles al público.

En lo que se refiere a las tecnologías empleadas para el monitoreo de la calidad del aire por parte de las diferentes autoridades ambientales a nivel regional, se puede afirmar que los Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire han presentado una evolución escalonada hacia el uso de equipos de monitoreo automáticos o semiautomáticos (continuos).

En la figura 15, durante los últimos once años se ha observado un crecimiento notable en la implementación de tecnologías automáticas en las estaciones de monitoreo de la calidad del aire. En particular, se destaca el incremento significativo en el número de estaciones automáticas en los años 2020 y 2021, superando en casi el doble a las estaciones manuales. Para la vigencia 2022, se presentó una disminución de una estación automática

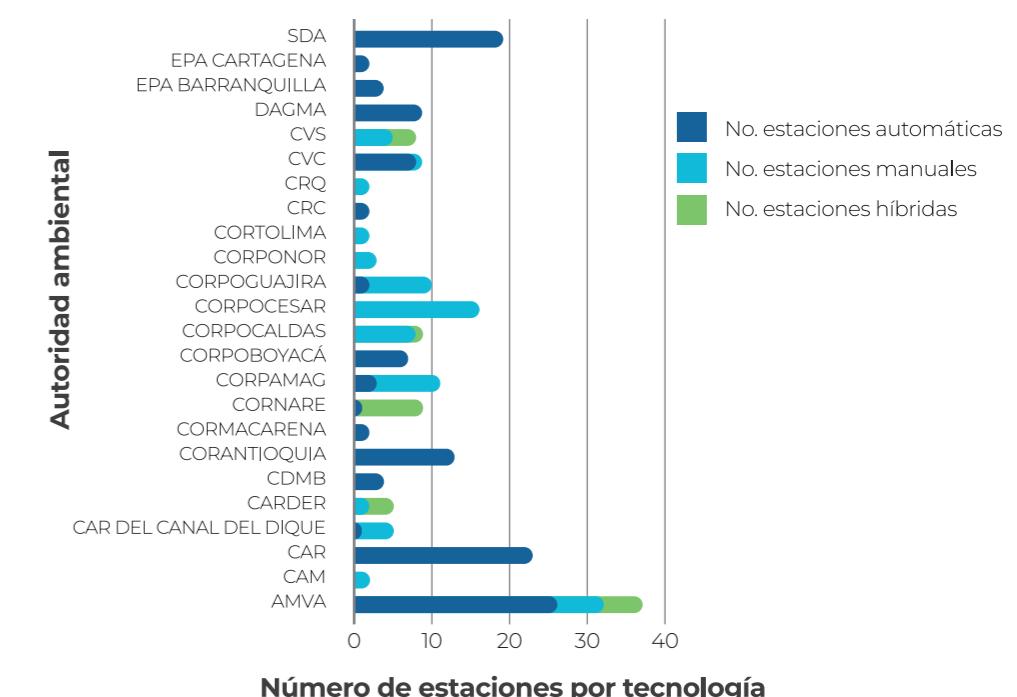
respecto al 2021, lo que significó una variación del (-0.79 %). Por otro lado, las estaciones de monitoreo que utilizaban tecnologías manuales presentaron un incremento de 9 estaciones (+16 %) en 2022 en comparación con 2021, mientras que las estaciones híbridas tuvieron un aumento de 6 estaciones (+43 %). Estos datos dan cuenta del esfuerzo realizado por las autoridades ambientales para fortalecer sus sistemas de vigilancia con el fin de lograr los niveles de monitoreo que presentaban antes de la pandemia del COVID-19, con miras a seguir mejorando el seguimiento del recurso aire en las regiones. Esto plantea desafíos y oportunidades significativos para la implementación y el fortalecimiento de los sistemas de alerta temprana para episodios de contaminación del aire.

Figura 15. Evolución de las estaciones de calidad del aire de acuerdo con la tecnología empleada, años 2011-2022



Fuente: Ideam (2022).

Figura 16. Estaciones de calidad del aire por autoridad ambiental de acuerdo con la tecnología empleada, año 2022



Fuente: Ideam (2022).

3.1.3. CONTAMINANTES EVALUADOS

En Colombia los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire administrados por las autoridades ambientales se centran principalmente en la evaluación de los seis contaminantes criterio. Estos contaminantes han sido identificados como comunes y perjudiciales para la salud y el bienestar humano, y por lo tanto están regulados por la resolución 2254 de 2017, que establece la norma de calidad del aire ambiente y otras disposiciones.

Como se muestra en la Figura 17, en Colombia se presta una mayor atención al seguimiento del material particulado PM₁₀ y PM_{2,5}, ya que estos contaminantes han mostrado históricamente el mayor número de incumplimientos de los estándares normativos y han alcanzado niveles en la calidad del aire que implican posibles efectos negativos para la salud humana. Es importante destacar que durante los últimos dos años se ha observado un fortalecimiento notable en el monitoreo del material particulado fino (inferior a 2,5 micras), con la incorporación de estaciones que han contribuido a una mejor comprensión del comportamiento de este contaminante, el cual reviste una importancia especial debido a los mayores riesgos que representa para la salud.

En contraste, los gases reactivos (SO₂, NO₂, CO y O₃) fueron monitoreados en una proporción menor (menos del 31 % de las estaciones), siendo el monóxido de carbono el menos monitoreado. Esta tendencia se atribuye a la histórica baja incidencia de contaminantes gaseosos en el país, ya que generalmente se mantienen dentro de los límites máximos permitidos y en un umbral que implica un riesgo bajo para la salud y el bienestar humano.

En la vigencia 2022, el contaminante criterio más evaluado corresponde al material particulado grueso (menor a 10 micras), el cual fue monitoreado por el 81 % del total de las estaciones (173 estaciones), seguido del material particulado fino, monitoreado en el 68 %

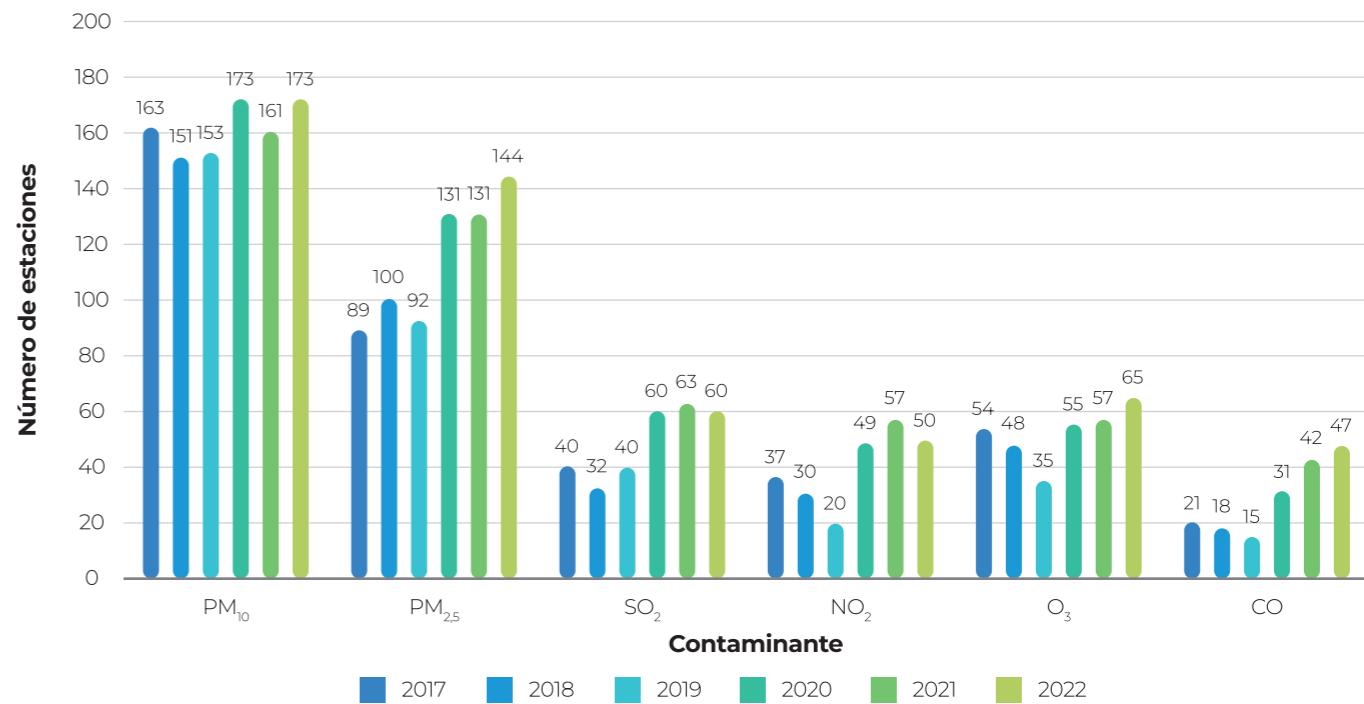
de las estaciones (144 estaciones). Entre tanto que los gases se monitorearon en menos del 31 % de las estaciones, siendo el ozono el gas más monitoreado, seguido del dióxido de azufre, el dióxido de nitrógeno y monóxido de carbono.

Como se muestra en la Figura 18 en relación con el año anterior, durante el 2022 se reportó un incremento del 7 % de las estaciones de monitoreo de PM₁₀, lo que equivale a 12 estaciones; mientras que las estaciones de PM_{2,5} presentaron un incremento del 11 %, correspondiente a 14 estaciones. Por su parte, se destaca que para el año 2022 los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire tuvieron un retroceso en cuanto al monitoreo de los gases dióxido de azufre y nitrógeno, esto ya que en general se registraron diminuciones del número de estaciones de monitoreo; resaltándose el mayor decrecimiento del 12 % (7 estaciones) para el dióxido de nitrógeno y de manera similar una disminución del 5 % (3 estaciones) para el dióxido de azufre. En contraste, el monóxido de carbono presentó un incremento del 12 % (5 estaciones más), mientras que el ozono troposférico aumentó en un 14 % (8 estaciones).

Durante el año 2022, el contaminante criterio más evaluado fue el material particulado menor a 10 micras - PM₁₀, cuyo monitoreo fue realizado por 173 estaciones, correspondiendo al 81 % del total de las estaciones, seguido del material particulado menor a 2,5 micras - PM_{2,5}, el cual fue monitoreado por el 68 % de las estaciones, es decir, por 144 estaciones.



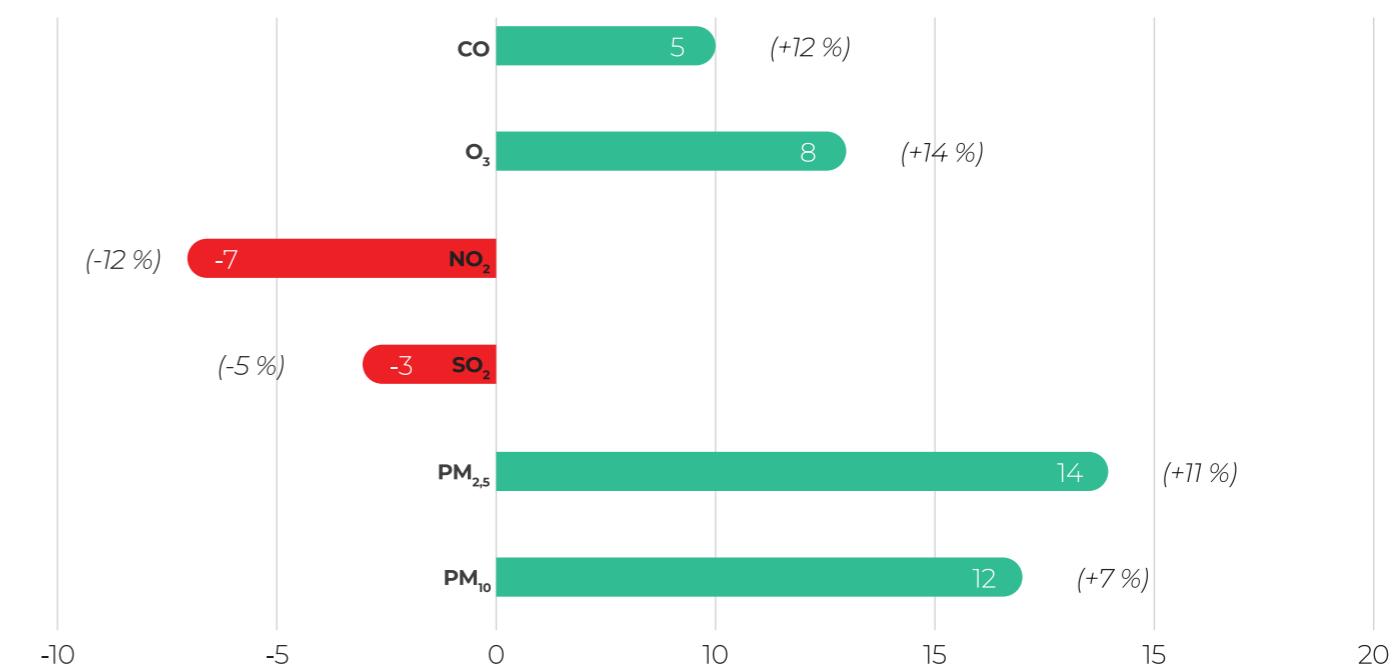
Figura 17. Evolución del número de estaciones por contaminante, años 2017-2022



Fuente: Ideam (2022).

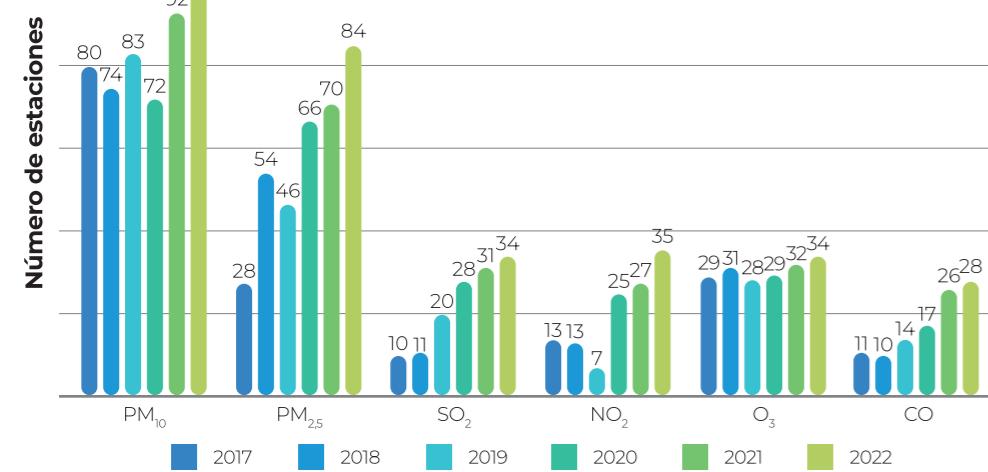


Figura 18. Diferencia del número y porcentaje de estaciones de monitoreo por contaminante, años 2021 - 2022



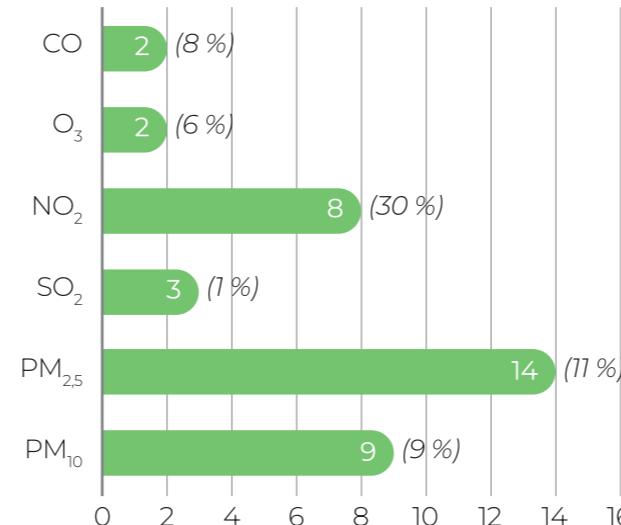
Fuente: Ideam (2022).

Figura 19. Evolución del número de estaciones con representatividad temporal, años 2017-2022



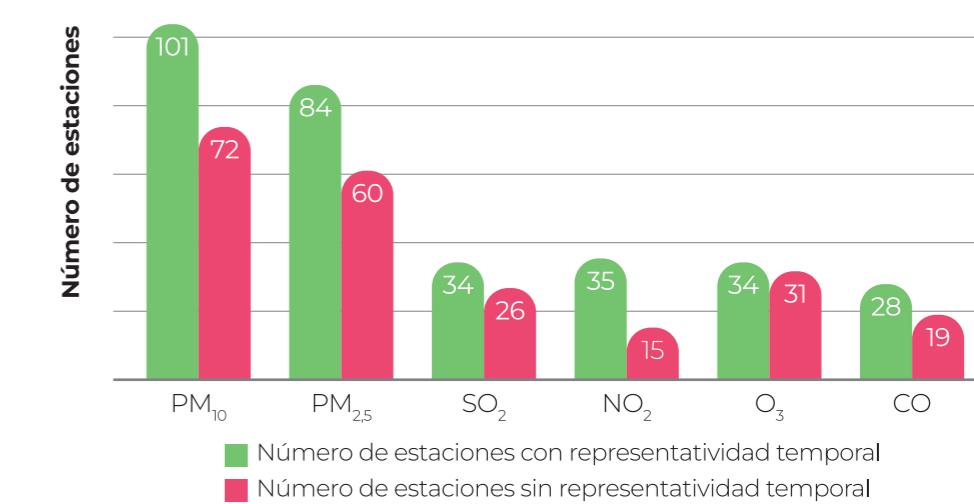
Fuente: Ideam (2022).

Figura 20. Diferencia del número y porcentaje de estaciones de monitoreo con representatividad temporal, años 2021-2022



Fuente: Ideam (2022).

Figura 21. Número de estaciones con y sin representatividad temporal, año 2022



Fuente: Ideam (2022).

De acuerdo con el protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, la representatividad temporal (o porcentaje de datos válidos) debe ser igual o superior al 75 % de los datos para que estos sean considerados representativos y sea posible usarlos con fines regulatorios, y efectuar una adecuada comparación normativa.

A partir de la evolución del número de estaciones con representatividad temporal (Figura 19) se destaca:

- En el país históricamente se ha monitoreado en mayor proporción el PM₁₀, señalando a su vez el mayor número de estaciones con representatividad temporal adecuada.
- Enseguida, se lista el PM_{2,5} siendo destacable que desde el año 2018, tras la puesta en vigencia de la resolución 2254 de 2017, las autoridades ambientales han realizado grandes esfuerzos por aumentar las estaciones de monitoreo que miden este contaminante y en mejorar la calidad y validez de la información.
- Por su parte, el monitoreo representativo de los gases se da en menor proporción, siendo el dióxido de nitrógeno el gas con mayor número de estaciones cumpliendo con la representatividad temporal en el año 2022, presentando un incremento en su seguimiento durante los últimos tres años para los demás contaminantes gaseosos (ozono troposférico, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y monóxido de carbono), también se observaron incrementos graduales en el número de estaciones.

Tal como se ilustra en la Figura 20, para el año 2022 con respecto al año 2021, se resalta:

- Para la totalidad de los contaminantes evaluados se identificaron aumentos en el número de estaciones que cumplieron con el criterio de representatividad temporal, aportando valiosa información para la gestión integral de la calidad del aire.
- Para el periodo de evaluación (2021-2022), se destaca que el NO₂ reportó el mayor incremento porcentual de estaciones representativas, con un 30 % (que equivale a 8 estaciones).
- Seguido del PM_{2,5} con un 11 % más de estaciones representativas (equivalente a 14 estaciones) PM₁₀, con un incremento del 9 % (9 estaciones).
- Los demás contaminantes refieren incrementos inferiores al 8 % de las estaciones, siendo el O₃ y el SO₂, los contaminantes que refieren los menores incrementos porcentuales.

A partir de los resultados ilustrados en la Figura 21 se identifican oportunidades de mejora, esto ya que, si bien durante los últimos años se ha mejorado la representatividad temporal obtenida en las estaciones de monitoreo, el número de estaciones que no cuentan con representatividad temporal continúa siendo considerable:

- A diferencia del año 2021, para la vigencia 2022 la proporción de estaciones que tuvo una representatividad superior al 75 % fue mayor a las que no cumplieron con este criterio para todos los contaminantes.
- Para los contaminantes criterio PM₁₀ y PM_{2,5}, las estaciones representativas fueron un 58 % del total de estaciones que monitorearon estas variables. En el caso de los gases el dióxido de nitrógeno presentó la mayor representatividad con el 70 %, seguido por el monóxido de carbono con el 60 % de las estaciones, seguidos por el dióxido de azufre con el 57 % y cerrando con el ozono troposférico con un 52 % de las estaciones cumpliendo con la representatividad.

Estas cifras permiten resaltar la necesidad de implementar acciones de mejora en los aspectos operativos y técnicos de las estaciones, para optimizar la representatividad de las mediciones y obtener más información y de mejor calidad.

3.2. REQUERIMIENTOS DE LOS SISTEMAS DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE -SVCA-

3.2.1. REQUERIMIENTOS DE LOS SVCA DE ACUERDO CON EL TAMAÑO DE LA POBLACIÓN

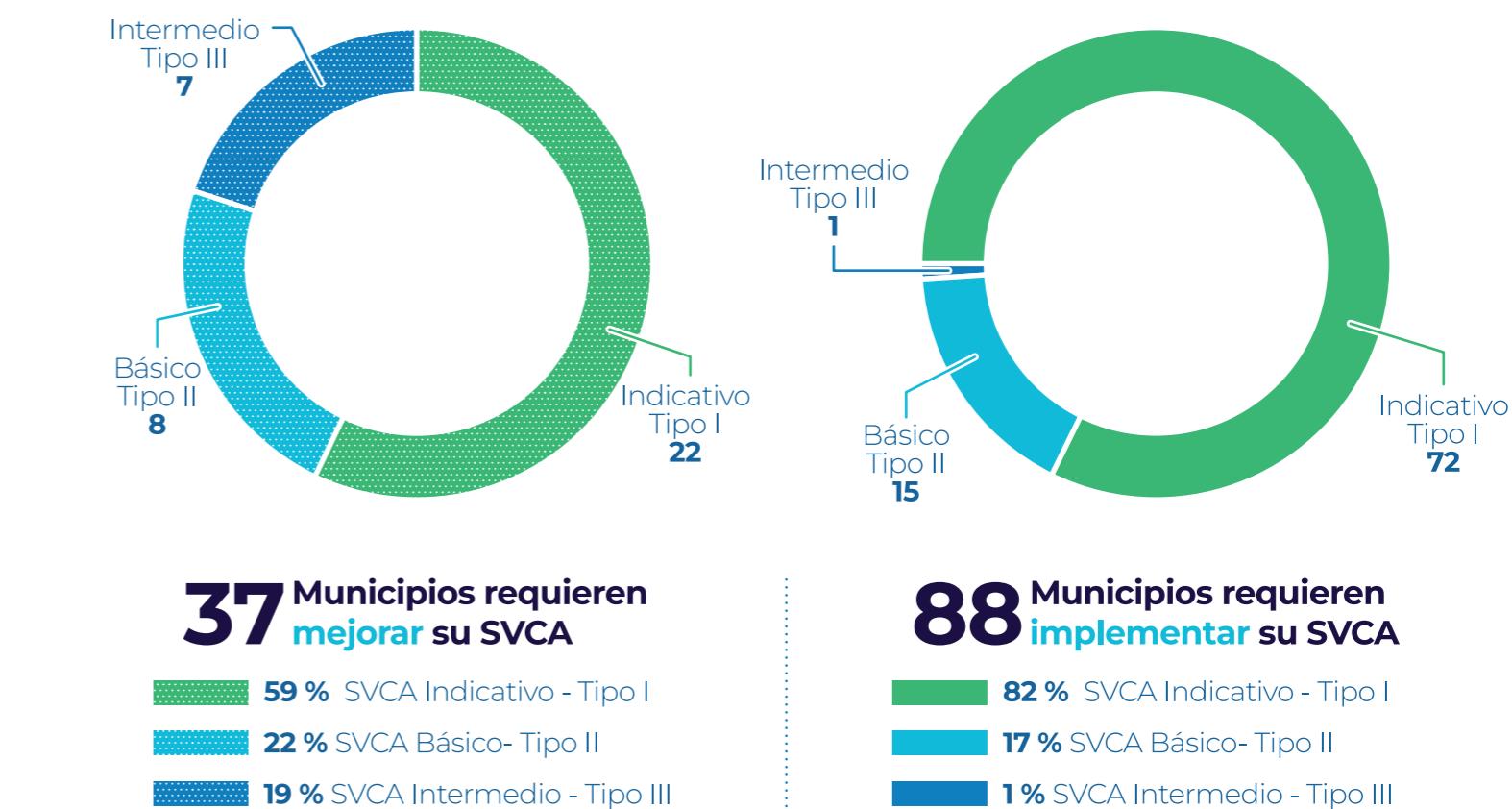
En el territorio nacional el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire establece los requerimientos o necesidades de monitoreo de los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire en función del tamaño de la población de los municipios, tal como se ilustra a continuación en la Infografía 7.

 **Infografía 7.** Tipos de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire según el tamaño de la población de los municipios



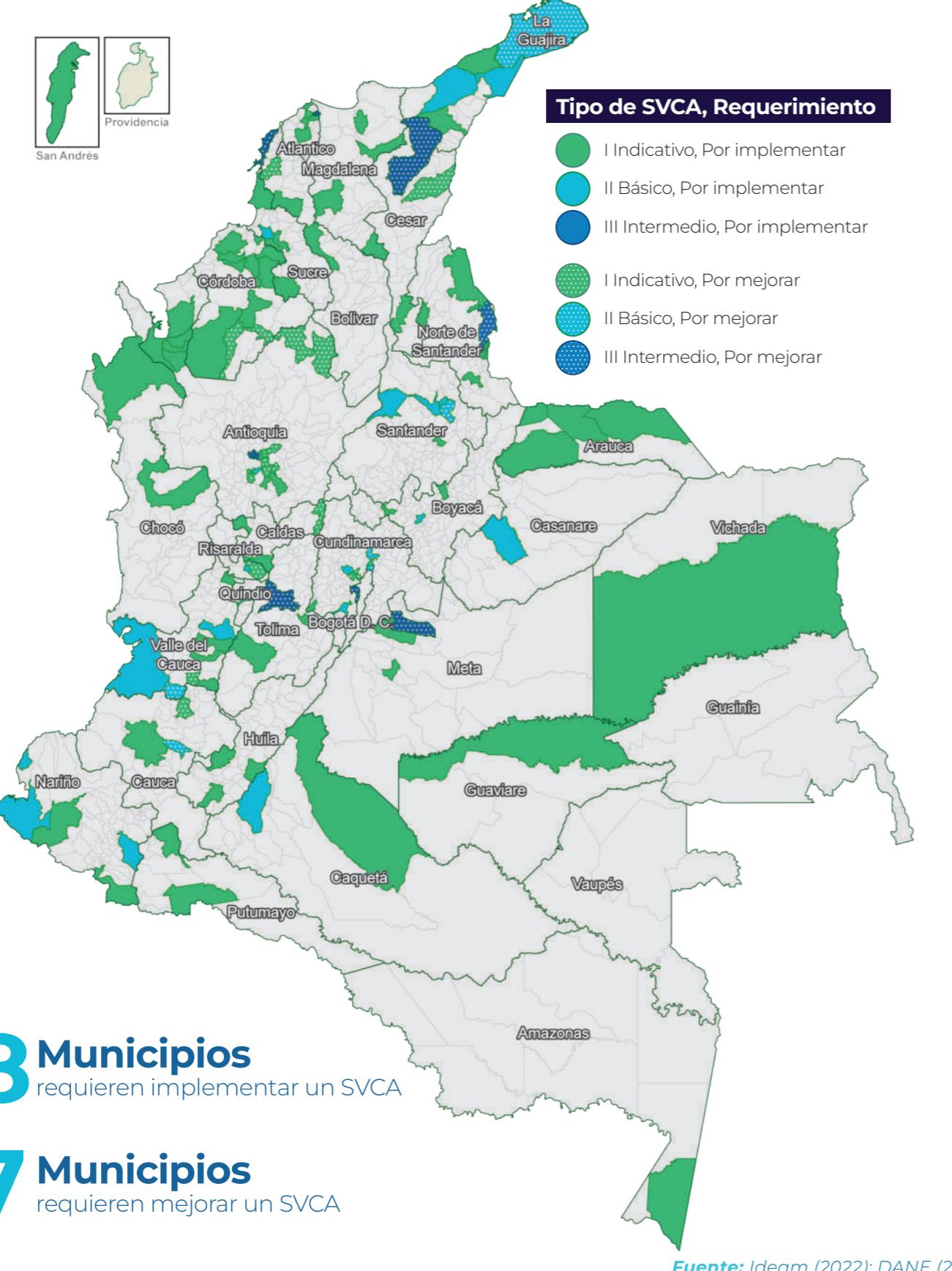
En los últimos años se ha fortalecido el monitoreo de la calidad del aire y las autoridades ambientales de orden regional y local han venido realizando grandes esfuerzos mediante programas regionales de prevención y control, orientados a atender problemáticas específicas asociadas a la contaminación atmosférica, y a lograr una gestión del recurso aire adecuada e integral; no obstante, se identifican grandes retos y oportunidades, ya que de acuerdo con los lineamientos establecidos en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire en el país, para el año 2022, se identificaron los siguientes requerimientos (Figura 22):

 **Figura 22.** Municipios que requieren implementar o mejorar los SVCA de acuerdo con el tamaño de su población, año 2022



Fuente: Ideam (2022); DANE (2022).

 **Infografía 8.** Municipios que requieren implementar o mejorar los SVCA, de acuerdo con el tamaño de su población, año 2022



88 MUNICIPIOS REQUIEREN IMPLEMENTAR UN SVCA:

Indicativo – Tipo I

72 municipios requieren implementar un SVCA Indicativo -Tipo I:

Acacias, Aguachica, Apartadó, Arauca, Arauquita, Baranoa, Barbacoas, Calarcá, Carepa, Cartago, Cereté, Chaparral, Chigorodó, Chinchiná, Chinú, Chiquinquirá, Ciénaga de Oro, Corozal, Cumaribo, Duitama, El Banco, El Carmen de Bolívar, El Carmen de Viboral, El Cerrito, El Espinal, El Tambo, Florida, Fundación, Galapa, Garzón, Granada, Guadalajara de Buga, Ipiales, La Ceja, La Plata, Leticia, Lorica, Los Patios, Magangué, Malambo, Manaure, Mocoa, Ocaña, Pamplona, Pitalito, Planeta Rica, Plato, Puerto Asís, Puerto Colombia, Quibdó, Riosucio (Caldas), Riosucio (Chocó), Sabanalarga, Sahagún, Sampués, San Andrés, San Gil, San José del Guaviare, San Juan del Cesar, San Marcos, San Onofre, San Pelayo, San Vicente del Caguán, Saravena, Tame, Tibú, Tierralta, Tuchín, Turbo, Villa del Rosario, Villamaría y Zona Bananera.

Básico – Tipo II

15 municipios requieren implementar un SVCA Indicativo SVCA Básico -Tipo II:

Barrancabermeja, Buenaventura, Facatativá, Florencia, Floridablanca, Fusagasugá, Girón, Maicao, Pasto, Riohacha, San Andrés de Tumaco, Sincelejo, Tuluá, Tunja y Yopal.

Intermedio – Tipo III

1 municipio requiere implementar un SVCA Indicativo Intermedio -Tipo III:

Soledad.

37 MUNICIPIOS REQUIEREN MEJORAR SU SVCA:

Indicativo – Tipo I

22 municipios requieren mejorar su SVCA por uno Indicativo -Tipo I:

Agustín Codazzi, Arjona, Barbosa, Cajicá, Caldas, Candelaria, Caucasia, Copacabana, El Bagre, Funza, Girardot, Girardota, Guarne, La Dorada, La Estrella, Madrid, Marinilla, Montelíbano, Rionegro, Sabaneta, Santa Rosa de Cabal y Santander de Quilichao.

Básico – Tipo II

8 municipios requieren mejorar su SVCA por uno Básico -Tipo II:

Chía, Dosquebradas, Envigado, Jamundí, Piedecuesta, Popayán, Uribe y Zipaquirá.

Intermedio – Tipo III

7 municipios requieren mejorar su SVCA por uno Indicativo Intermedio -Tipo III:

Bello, Cartagena de Indias, Ibagué, San José de Cúcuta, Soacha, Valledupar y Villavicencio.

Nota: el municipio de Buenaventura actualmente cuenta con SVCA tipo II - Básico, conformado por dos estaciones fijas y una móvil; este SVCA monitoreó en tiempo casi real el material particulado PM₁₀ y PM_{2,5} y variables meteorológicas. Aún el SVCA se encuentra en fase de pruebas y estabilización. Se espera, para el próximo año, poder contar con información de calidad del aire de este importante puerto marítimo de Colombia.

3.2.2. REQUERIMIENTOS DE ACREDITACIÓN DE LOS SVCA

La acreditación es una garantía de la competencia técnica y la idoneidad para la producción de datos e información fisicoquímica asociada a la adecuada operación de los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire.

 Consulte aquí la lista de laboratorios acreditados por el Ideam:
<http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/acreditacion>

La normativa colombiana señala que, “los laboratorios que produzcan información cuantitativa, física, química y biótica para los estudios o análisis requeridos por las autoridades ambientales competentes, y los demás que produzcan información de carácter oficial relacionada con la calidad del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, deberán poseer certificado de acreditación correspondiente otorgado por el Ideam” (Parágrafo 2 del artículo 5, del Decreto 1600 de 1994).

En conformidad con lo señalado, desde el año 2016 se empezaron a fortalecer los procesos de acreditación de los SVCA del país; para este entonces se contaba únicamente con tres autoridades ambientales acreditadas, correspondientes a Corpoguajira, Cortolima y Corpocesar; durante el año 2017, se sumaron cuatro autoridades ambientales: la CAR Cundinamarca, CVC Valle del Cauca, Corpoboyacá y DAGMA Cali; durante el 2018 surtieron el debido proceso de acreditación dos SVCA más, correspondientes a autoridades ambientales de grandes centros urbanos, como lo son AMVA Valle de Aburrá y SDA Bogotá; para el 2019, se incorporó el SVCA de Corponariño y para el 2021, se incorporaron a la lista el EPA Barranquilla Verde y la CRC del Cauca, sumando así un total de 13 SVCA acreditados, bajo los lineamientos de la norma NTC-ISO/IEC 17025 “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración”.

Durante el año 2022, la CRC, Cortolima y Corponariño, salieron de la lista de laboratorios acreditados en la norma ISO/IEC 17025, por tal motivo, se presentó una disminución del 23 % de autoridades ambientales acreditadas a nivel nacional, respecto a la vigencia 2021, dejando un total de 10 SVCA acreditados (Infografía 9).

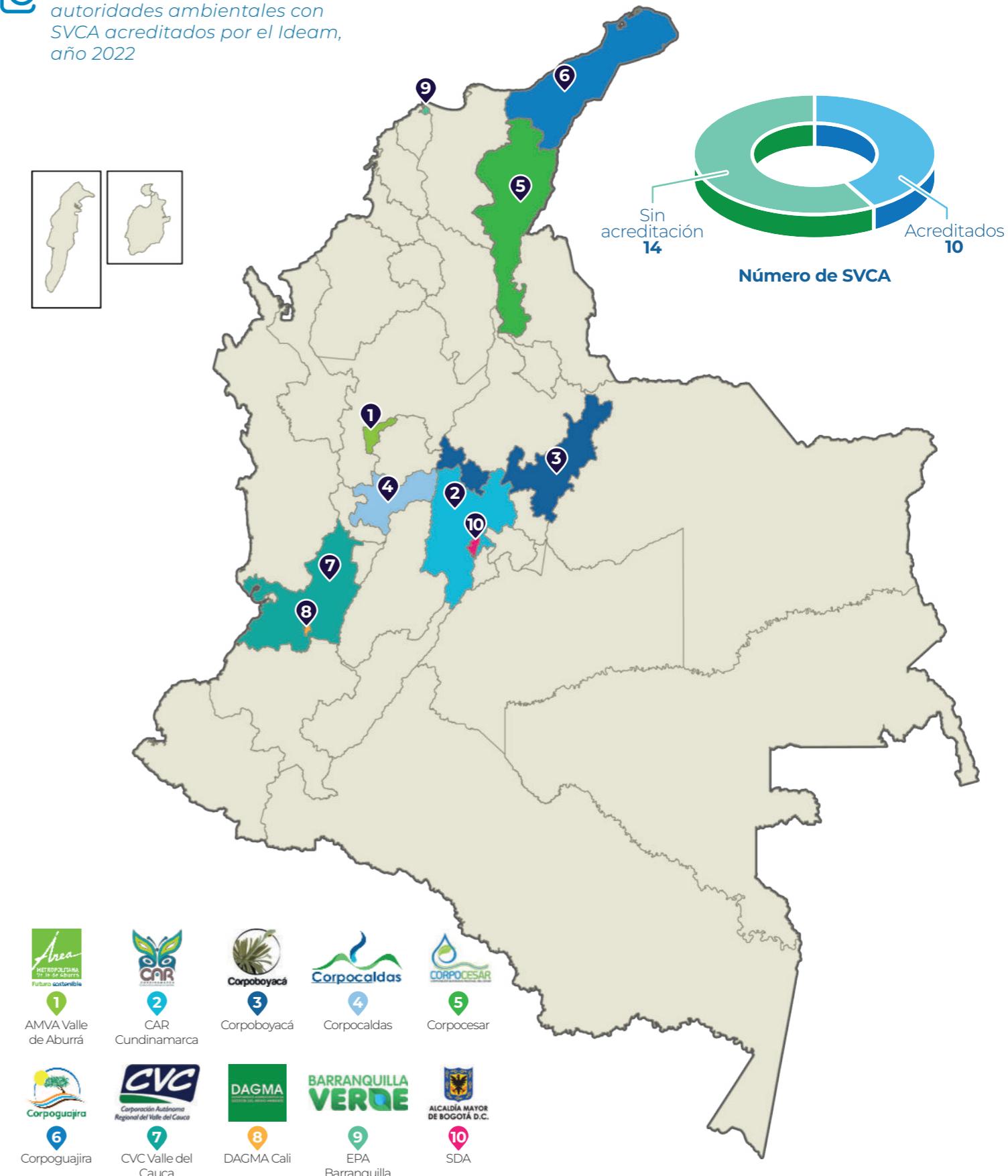
Al respecto, se identifican oportunidades de mejora a nivel nacional, esto ya que el 58% del total de los SVCA operados por autoridades ambientales no cuentan con acreditación. Esto resalta la necesidad de que las respectivas autoridades ambientales surtan el debido proceso, siendo este un gran reto para el país, que debe ser abordado de manera progresiva, mediante la incentivación de la acreditación.

14 AUTORIDADES AMBIENTALES REQUIEREN ACREDITAR SU SVCA:

CAM, Cardique, Carder, CDMB, Corantioquia, Cormacarena, Cornare, Corpamag, Corponor, CRC, CRQ, Cortolima, CVS y EPA Cartagena.



Infografía 9. Jurisdicción de autoridades ambientales con SVCA acreditados por el Ideam, año 2022



Fuente: elaboración propia.



Estado de la calidad del aire nacional

En este capítulo se presentan estadísticas consolidadas para cada uno de los seis contaminantes criterio de interés a nivel nacional, que permiten definir el estado de la calidad del aire a partir de la información disponible, procedente de los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire operados por autoridades ambientales. Exhibiendo para cada contaminante:

- **Concentraciones promedio anuales⁷:** obtenidas a partir de las estaciones de monitoreo que presentaron una representatividad temporal adecuada⁸ (porcentaje de datos válidos mayor o igual al 75 %). Para los contaminantes que, de acuerdo con la resolución 2254 de 2017 cuentan con un límite máximo permisible anual, se presenta la respectiva comparación normativa, se ilustra el nivel máximo permisible vigente establecido por la resolución para un periodo de exposición anual (representado por la línea discontinua roja) y el referente normativo proyectado para el año 2030 (línea discontinua azul).
- **Tendencia multianual:** para el PM₁₀ y PM_{2,5} en las diez estaciones que en 2021 reportaron las máximas concentraciones promedio anual se presentan las concentraciones obtenidas en los últimos diez años (periodo 2011 - 2021).
- **Excedencias normativas:** para las estaciones que refirieron representatividad temporal adecuada se presentan los días de excedencias normativas (sobrepasos de la norma aplicable), de acuerdo con los tiempos de exposición estipulados en la resolución 2254 de 2017.
- **Índice de la calidad del aire:** para las estaciones que refirieron representatividad temporal adecuada se expone la proporción de datos en las que se registran las diferentes categorías del estado de la calidad del aire estandarizadas en la resolución 2254 de 2017, que permiten asociar la concentración de un contaminante con un potencial efecto en la salud humana.
- **Concentraciones promedio anuales indicativas:** obtenidas a partir de las estaciones de monitoreo que presentaron una representatividad temporal (porcentaje de datos válidos) inferior al 75 %. Para los contaminantes que, de acuerdo con la resolución 2254 de 2017 cuentan con un límite máximo permisible anual, de manera indicativa se presenta la respectiva comparación normativa. En este sentido, se debe mencionar que estos resultados se presentan con la intención de identificar estaciones que podrían reflejar indicios de contaminación atmosférica, las cuales son de especial interés y atención por parte de las autoridades ambientales competentes.

 Para más información acerca de la determinación estadística de estos indicadores, consulte aquí las respectivas hojas metodológicas:
<https://sites.google.com/ideam.gov.co/infoambiental-ideam/SIA/IndicadoresAmbientales?authuser=0>

A partir de los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire -SVCA- del país se obtienen las concentraciones o niveles de inmisión de los diferentes contaminantes atmosféricos.

- La cobertura espacial
- El número de SVCA y de estaciones de monitoreo
- La calidad y disponibilidad de la información
- La representatividad temporal

Son los principales aspectos para determinar el estado de la calidad del aire que respiramos y su correlación con posibles efectos adversos en la salud de la población.



»»
 Sistema de
 Vigilancia de la
 Calidad del Aire de
 CDMB

7. Para la comparación con la norma se emplea el promedio aritmético, los datos incluidos serán los promedios diarios u horarios de concentración según el contaminante de interés. Es posible realizar esta comparación tanto para estaciones manuales como para automáticas, haciendo la salvedad de que la cantidad de datos obtenidos por los equipos manuales durante el año no debe ser inferior a noventa y un (91) datos y que para el muestreo automático serían (274) datos, que corresponden al 75 % de los posibles en el año. Para el caso del ozono y el monóxido de carbono se requiere que el monitoreo de dicho contaminante se realice a través de analizadores automáticos. Una vez se tengan los reportes horarios de concentración, se procede con el cálculo de la media móvil para grupos de ocho (8) datos horarios, de tal manera que se generan 24 valores por día y son estos valores los que son comparados con la norma nacional para períodos de tiempo iguales a ocho (8) horas.

8. La representatividad temporal permite definir concluyentemente el estado de la calidad del aire en el área de influencia o dominio de una estación, debido a que el porcentaje de datos válidos es suficiente para representar el comportamiento de un determinado contaminante.

4.1. MATERIAL PARTICULADO MENOR A 10 MICRAS - PM₁₀

4.1.1. CONCENTRACIONES PROMEDIO ANUALES

101 estaciones tuvieron una representatividad temporal adecuada.

97% de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual vigente ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

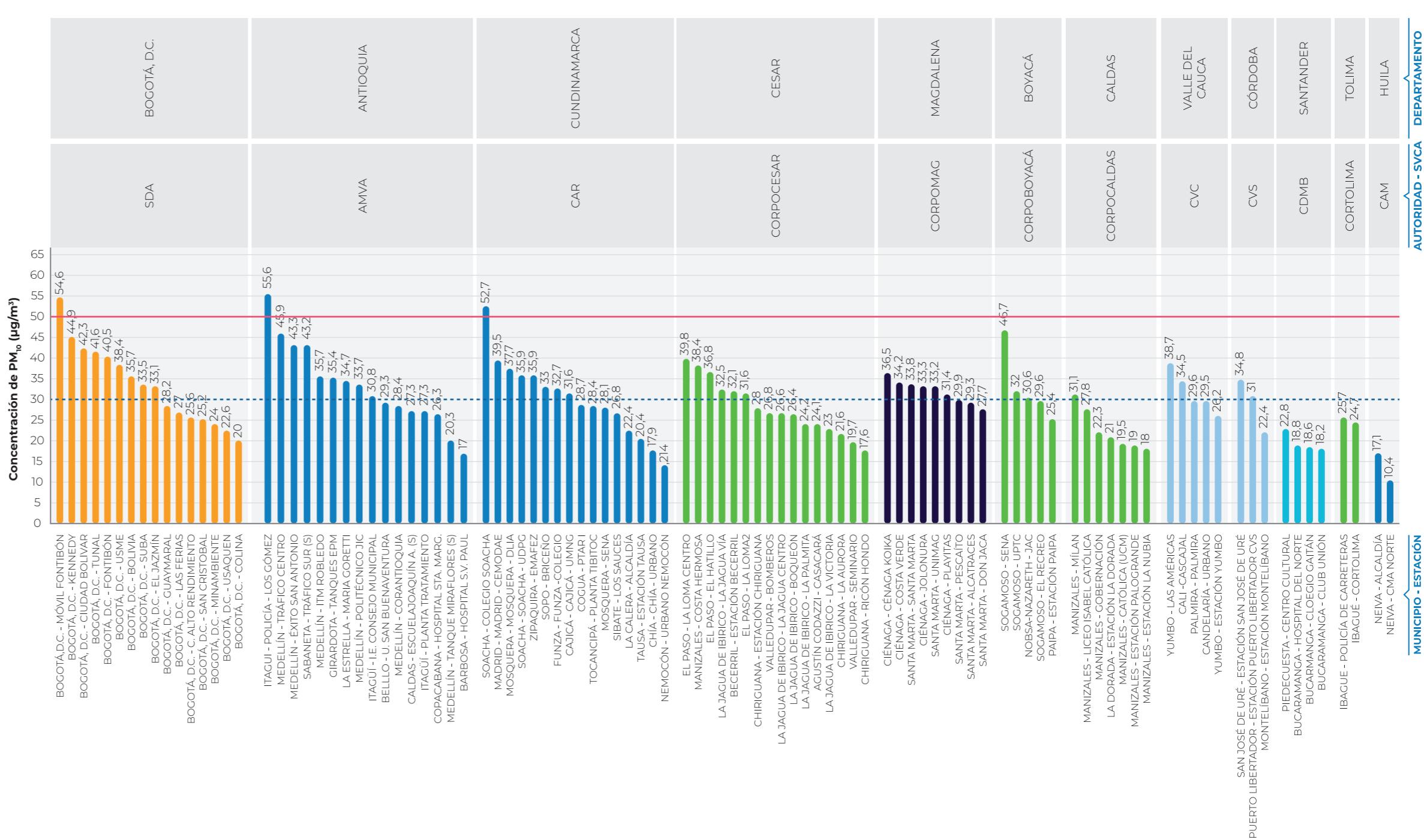
3 estaciones excedieron dicho referente normativo vigente, ubicadas en:

- Itagüí Policía, Itagüí
- Bogotá D.C. Fontibón
- Soacha Colegio, Cundinamarca

Aumentaron en 4,6 % las estaciones en situación de cumplimiento con relación al año 2021.

54,5% de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual proyectado a 2030 ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Durante el año 2021, las estaciones Carvajal – Sevillana de la SDA y AMA – FER de Corantioquia presentaron los niveles más altos de concentraciones de PM₁₀ a nivel nacional; sin embargo, en la vigencia 2022, ninguna de las dos estaciones cumplió con el criterio de representatividad temporal.

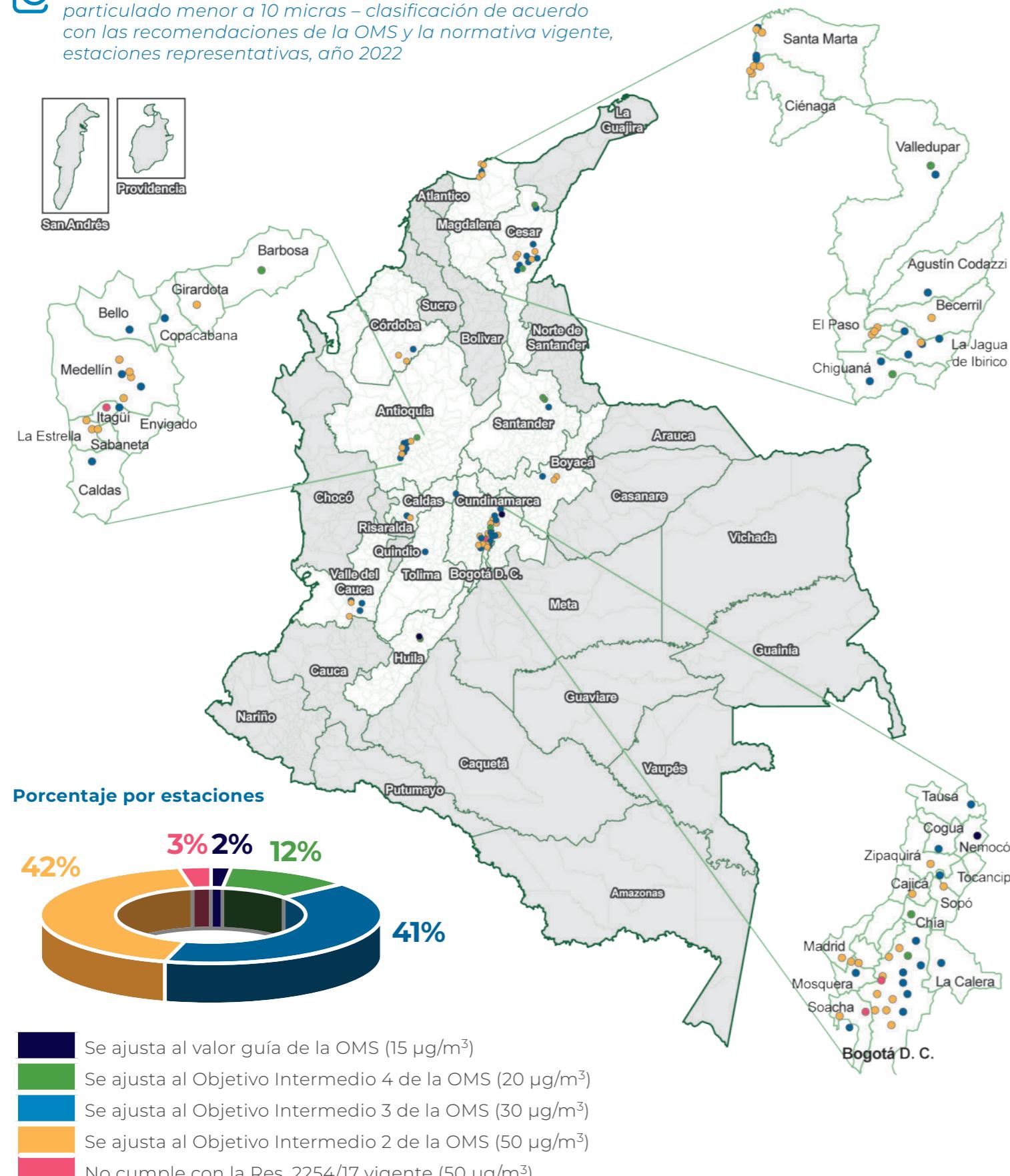


Res. 2254/2017

Res. 2254/2017 a 2030

Fuente: Ideam (2022).

 **Infografía 10.** Concentraciones anuales de material particulado menor a 10 micras – clasificación de acuerdo con las recomendaciones de la OMS y la normativa vigente, estaciones representativas, año 2022



Fuente: elaboración propia.

SVCA	Clasificación de acuerdo con las recomendaciones de la OMS y la normativa vigente	No. estaciones
Se ajusta al valor guía de la OMS ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$)		
CAM	CAM Norte	1
CAR	Urbano Nemocón	1
Se ajusta al objetivo intermedio 4 de la OMS ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$)		
AMVA	Hospital S.V. Paul	1
CAM	Alcaldía	1
CAR	Chía - Urbano	1
CDMB	Hospital Del Norte, Colegio Gaitán, Club Unión	3
Corpocaldas	Católica (UCM), Palogrande, La Nubia	3
Corporcesar	Rincón Hondo, Seminario	2
SDA	Colina	1
Se ajusta al objetivo intermedio 3 de la OMS ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$)		
AMVA	Tanque Miraflores, Hospital Sta. Marg., Planta Tratamiento, Escuela Joaquín A. (S), Corantioquia, U. San Buenaventura	6
CAR	Estación Tausa, Alcaldía, Los Sauces, Sena, Planta Tibitoc, Ptar. I	6
CDMB	Centro Cultural	1
Corpoboyacá	El Recreo, Estación Paipa	2
Corpocaldas	Liceo Isabel La Católica, Gobernación, Estación La Dorada	3
Corporcesar	La Aurora, La Victoria, Casacará, La Palmita, Boquerón, La Jagua Centro, Bomberos, Estación Chiriguaná	8
Corpamag	Pescaíto, Alcatraces, Don Jaca	3
Cortolima	Cortolima, Policía De Carreteras	2
CVC	Palmira, Urbano, Yumbo	3
CVS	Estación Montelíbano	1
SDA	C. Alto Rendimiento, Guaymaral, Las Ferias, San Cristóbal, Suba	5
Se ajusta al Objetivo Intermedio 2 de la OMS ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$)		
AMVA	Tráfico Centro, Éxito San Antonio, Tráfico Sur (S), ITM Robledo, ITM Robledo, Tanques EPM, María Goretti, Politécnico JJC, I.E. Concejo Municipal	8
CAR	Madrid – Cemodae, Mosquera – Dlia, Soacha – UDPG, Emafez, Briceño, Funza – Colegio, Cajica - UMNG	7
Corpamag	Alcatraces, Ciénaga Koica, Costa Verde, Don Jaca, Pescaíto, Santa Marta, Unimag Sena, Nazareth-JAC.	6
Corpoboyacá	La Loma Centro, Costa Hermosa, El Hatillo, La Jagua Vía, Estación Becerril, La Loma 2	6
Corporcesar	Las Américas, Cascajal	2
CVC	Estación San José De Uré, Estación Puerto Libertador, CVS	3
CVS	Kennedy, Ciudad Bolívar, Tunal, Fontibón, Usme, Bolivia, Suba, El Jazmín	8
SDA	Móvil Fontibón	1
No cumple con la Res. 2254/17 (vigente) ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$)		
AMVA	Policía Los Gómez	1
CAR	Colegio Soacha	1
SDA	Móvil Fontibón	1

4.1.2. TENDENCIA MULTIANUAL 2011-2022



Figura 24. Top 10 de estaciones con máximas concentraciones anuales de material particulado menor a 10 micras – tendencia multianual, estaciones representativas, años 2011-2022

Fuente: Ideam (2022).

5 estaciones muestran una tendencia al aumento en los últimos años:

- SENA (Sogamoso)
- Kennedy (Bogotá)
- Tráfico sur (Sabaneta)
- Ciudad Bolívar (Bogotá)
- Tunal (Bogotá)

3 estaciones presentan tendencia al descenso y a ajustarse gradualmente al límite máximo normativo anual:

- Tráfico centro (Medellín)
- Colegio Soacha (Cundinamarca)
- Éxito San Antonio (Medellín)

Las zonas en donde se sitúan las estaciones que evidencian una tendencia al crecimiento de las concentraciones de este contaminante requieren una atención prioritaria por parte de las autoridades ambientales competentes, debido a la necesidad de implementar o potenciar las estrategias para la disminución paulatina de las concentraciones de PM₁₀ en el aire ambiente.

4.1.3. EXCEDENCIAS AL NIVEL MÁXIMO PERMISIBLE DIARIO

37 estaciones registraron excedencias al nivel máximo permisible diario ($75 \mu\text{g}/\text{m}^3$), lo que corresponde al 36,5 % del total de las estaciones.

3 estaciones reportaron entre 30 y 56 días excediendo la norma diaria:

- Móvil Fontibón (Soacha, Cundinamarca) con 56 días
- Colegio Soacha (Soacha, Cundinamarca) con 36 días
- Policía Los Gómez (Itagüí, Antioquia) con 32 días

2 estaciones reportaron entre 10 y 22 días excediendo la norma diaria:

- Ciudad Bolívar (Bogotá, D. C.) con 18 días
- Kennedy (Bogotá, D. C.) con 18 días

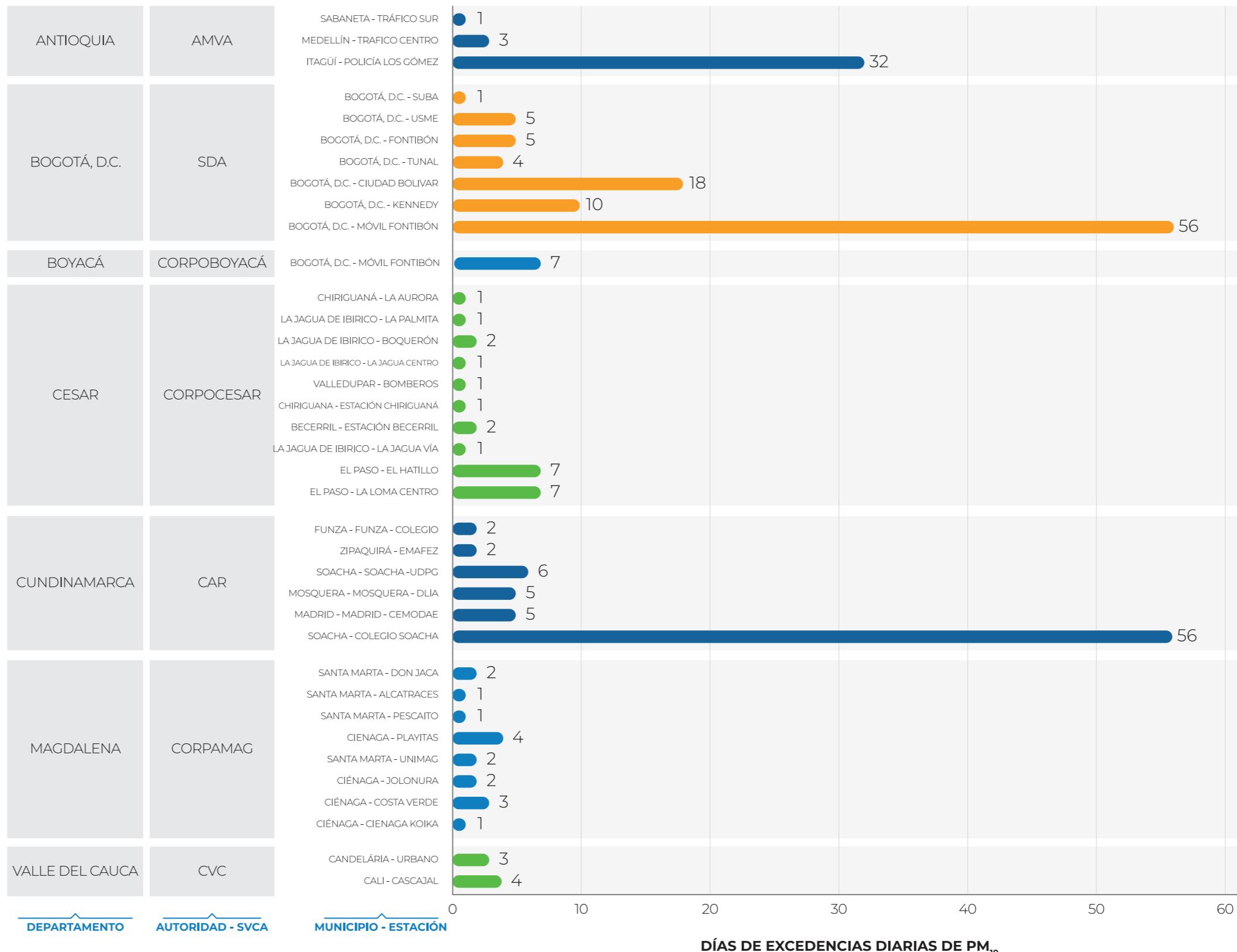
32 estaciones reportaron menos de 10 días excediendo la norma diaria:

Disminuyeron en un 7.5 % las estaciones que registraron excedencias al nivel máximo permisible diario, con respecto al año 2021.

Es aconsejable que las autoridades ambientales competentes ejecuten o refuerzen el monitoreo en las estaciones que presentan excedencias a la norma en periodos de exposición cortos, para establecer con claridad las principales fuentes de emisión y demás dinámicas clave para fortalecer o redireccionar las medidas para mitigar las emisiones, y consecuentemente el número de excedencias al nivel máximo permisible diario de PM_{10} en el aire ambiente.



Figura 25. Días con excedencias al nivel máximo permisible diario de material particulado menor a 10 micras – estaciones representativas, año 2022



Fuente: Ideam (2022).

4.1.4. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE

101 estaciones reportaron representatividad temporal adecuada

101 estaciones reportaron, en proporciones mayoritarias (en más del 50 % del tiempo de monitoreo), un estado de la calidad del aire bueno.

2 estaciones reportaron, en proporciones mayoritarias (en más del 40 % del tiempo de monitoreo), un estado de la calidad del aire aceptable; estas estaciones se ubican en:

- Bogotá, D. C. (Móvil Fontibón)
- Itagüí, Antioquia (Policía Los Gómez)

1 estación reportó una proporción máxima de 0,5 % (del tiempo de monitoreo) un estado de la calidad del aire dañino a la salud de grupos sensibles; esta estación se ubica en:

- Soacha (Cundinamarca)

Ninguna estación registró un estado de la calidad del aire dañino para la salud.



Figura 26. Proporción de datos del índice de calidad del aire para material particulado menor a 10 micras – estaciones representativas, año 2022

ANTIOQUIA AMVA

BOGOTÁ, D.C. SDA

BOYACÁ CORPOBOYACÁ

CALDAS CORPOCALDAS

CESAR CORPOCESAR

CÓRDOBA CVS

CUNDINAMARCA CAR

CUNDINAMARCA CAR

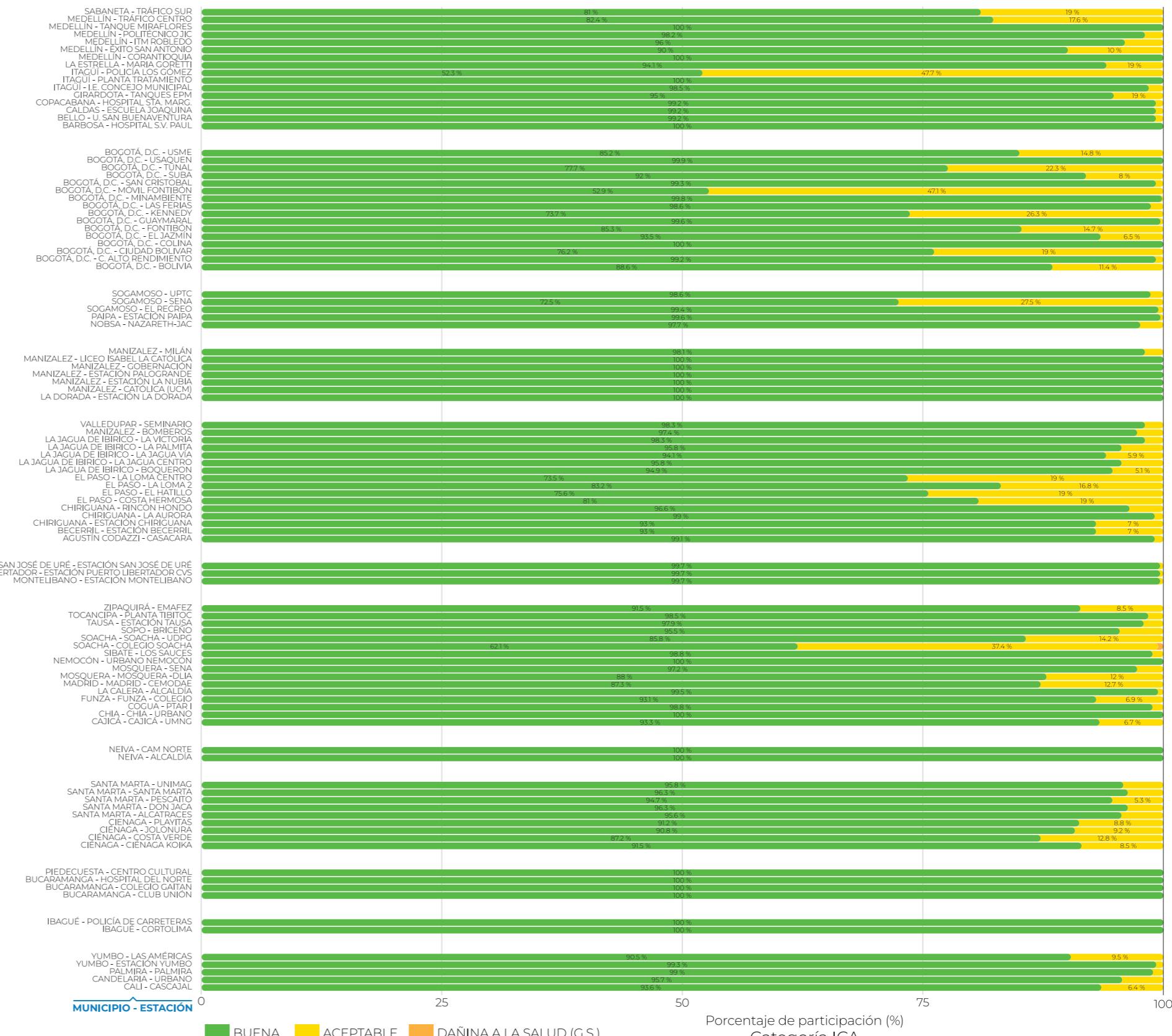
HUILA CAM

SANTANDER CDMB

TOLIMA CORTOLIMA

VALLE DEL CAUCA CVC

DEPARTAMENTO AUTORIDAD - SVCA



Fuente: Ideam (2022).

Luego del análisis de la ponderación del índice de calidad del aire para PM₁₀ en la vigencia 2022, que se ilustra en la figura 26, se puede afirmar que todas las estaciones que cumplieron con el 75 % de representatividad temporal a nivel nacional (101 estaciones) en proporciones mayoritarias (superiores al 50 % del tiempo de monitoreo) presentaron un estado de la calidad del aire bueno.

Adicionalmente, se puede observar que 5 estaciones presentaron índices de calidad del aire buenos entre el 50 y el 75 % del tiempo de monitoreo, las cuales se ubicaron en el Distrito Capital (Bogotá, D.C.) y los municipios de Itagüí (Antioquía), Soacha (Cundinamarca), Sogamoso (Boyacá), El Paso (Cesar), y en la ciudad de Santa Marta (Magdalena), lo que implica la implementación de estrategias y planes que permitieron la disminución de la incidencia de la categoría aceptable del ICA, que representa un riesgo bajo para la salud.

Es importante resaltar que de las estaciones que durante el año 2022 presentaron una representatividad temporal mayor al 75 % ninguna tuvo proporciones mayoritarias con un estado de la calidad del aire aceptable (>50 % del tiempo de monitoreo). Sin embargo, se debe mencionar que, las estaciones de monitoreo de calidad del aire de Carvajal-Sevillana (Bogotá, D.C.) y FER (Amagá, Antioquia), que fueron las que presentaron proporciones mayoritarias con un estado de la calidad del aire aceptable para el PM₁₀ durante el año 2021, no cumplieron con una representatividad temporal mayor al 75 %, y por tal motivo no se puede verificar la evolución del índice de calidad del aire en las mismas para comprobar si mejoraron o empeoraron de acuerdo con las estrategias de orden local implementadas para disminuir dichos índices.

En lo concerniente a la categoría dañina para la salud de los grupos sensibles (mujeres embarazadas,

adultos mayores, niños, personas con enfermedades respiratorias crónicas, personas con enfermedades cardiovasculares y otras preexistencias médicas), en el año 2022 tan solo se reportó en 1 estación de monitoreo, en un 0.5 % del tiempo monitoreado, lo cual representó una reducción del 83.7 % (5 estaciones), respecto a las que presentaron esta categoría en el año 2021. La única estación en la que se registró dicha categorización se encuentra en el municipio de Soacha (Cundinamarca). La autoridad ambiental correspondiente debe fortalecer los planes de gestión del recurso aire para reducir los impactos en la salud pública de dichos ICA.

Finalmente, se debe resaltar que durante la vigencia 2022, no se presentaron índices de calidad del aire en la categoría dañina para la salud en ninguna de las estaciones de monitoreo que cumplieron con el criterio de representatividad temporal, a diferencia del año 2021 en el cual 2 estaciones alcanzaron a registrar índices de calidad del aire en la categoría anteriormente mencionada.

La exposición a la contaminación por partículas tiende a afectar en su mayoría a personas con enfermedades cardíacas o pulmonares, niños, mujeres embarazadas y adultos mayores.

Grupos Sensibles



El material particulado es un indicador común de la contaminación del aire y afecta a más personas que ningún otro contaminante. Los principales componentes del material particulado son los sulfatos, los nitratos, el amoníaco, el cloruro de sodio, el hollín, los polvos minerales y el agua. Consiste en una compleja mezcla de partículas sólidas y líquidas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire. Las partículas con un diámetro de 10 micrones o menos (PM₁₀) pueden penetrar y alojarse profundamente en los pulmones (Organización Mundial de la Salud, 2021).

EFFECTOS RESPIRATORIOS

AUMENTO DE ENFERMEDADES Y MUERTE PREMATURA EN PERSONAS CON ENFERMEDADES PULMONARES:

- Asma gravada
- Función pulmonar reducida
- Síntomas respiratorios aumentados, como irritación en las vías respiratorias, tos o dificultad para respirar

SÍNTOMAS



Tos



Flema



Falta de aire



Opresión en el pecho

EFFECTOS CARDIOVASCULARES

AUMENTO DE ENFERMEDADES Y MUERTE PREMATURA EN PERSONAS CON ENFERMEDADES CARDÍACAS:

- Latidos irregulares
- Infartos de miocardio no mortales

SÍNTOMAS



Palpitaciones



Opresión en el pecho



Falta de aire



Fatiga inusual

Fuente: elaboración propia a partir de: Ideam (2021); Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2022).

4.1.5. CONCENTRACIONES PROMEDIO ANUALES - INDICATIVAS

72 estaciones no cumplieron con el porcentaje de representatividad temporal mínimo (75 %). De estas estaciones, 7 no cumplieron con el mínimo de datos diarios (18).

Aumentaron en un 4 % las estaciones que no cumplieron con los criterios de calidad, en relación con el año 2021.

42 estaciones cumplieron de forma indicativa con el nivel máximo permisible anual vigente ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

5 estaciones excedieron de forma indicativa dicho referente normativo vigente, las cuales están ubicadas en:

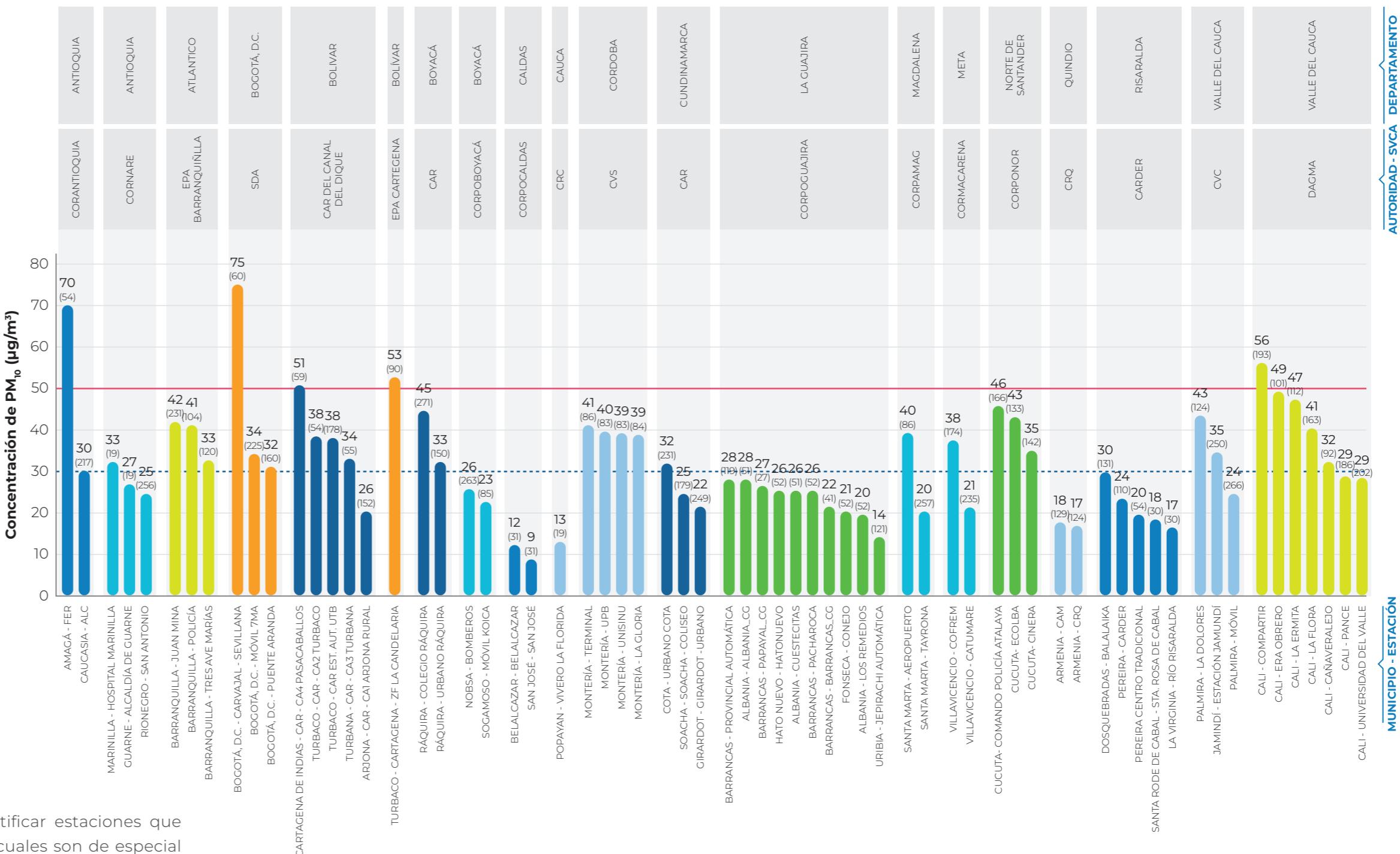
- Amagá, Antioquia
- Cartagena de Indias y Turbaco, Bolívar
- Cali, Valle del Cauca
- Bogotá, D.C.

33 estaciones cumplieron de forma indicativa con el nivel máximo permisible anual proyectado a 2030 ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Estas concentraciones se presentan con la intención identificar estaciones que podrían reflejar indicios de contaminación atmosférica, las cuales son de especial interés y atención por parte de las autoridades ambientales competentes, para que se orienten esfuerzos técnicos y operativos que permitan mejorar la calidad del dato y aportar información valiosa para el entendimiento del comportamiento de este contaminante en el área de influencia que soporte la toma de decisiones.



Figura 27. Concentraciones anuales de material particulado menor a 10 micras – estaciones no representativas, año 2022



El número que se muestra por encima de cada barra representa el promedio anual del contaminante mientras que el ubicado entre paréntesis es el número de muestras válidas tomadas durante el año.

Res. 2254/2017

Res. 2254/2017 a 2030

Fuente: Ideam (2022).

AUTORIDAD - SVCA

MUNICIPIO - ESTACIÓN

DEPARTAMENTO

4.2. MATERIAL PARTICULADO MENOR A 2,5 MICRAS - PM_{2,5}

4.2.1. CONCENTRACIONES PROMEDIO ANUALES



Figura 28. Concentraciones anuales de material particulado menor a 2,5 micras – estaciones representativas, año 2022

Hubo 84 estaciones con representatividad temporal adecuada.

El 94,1 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual vigente ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

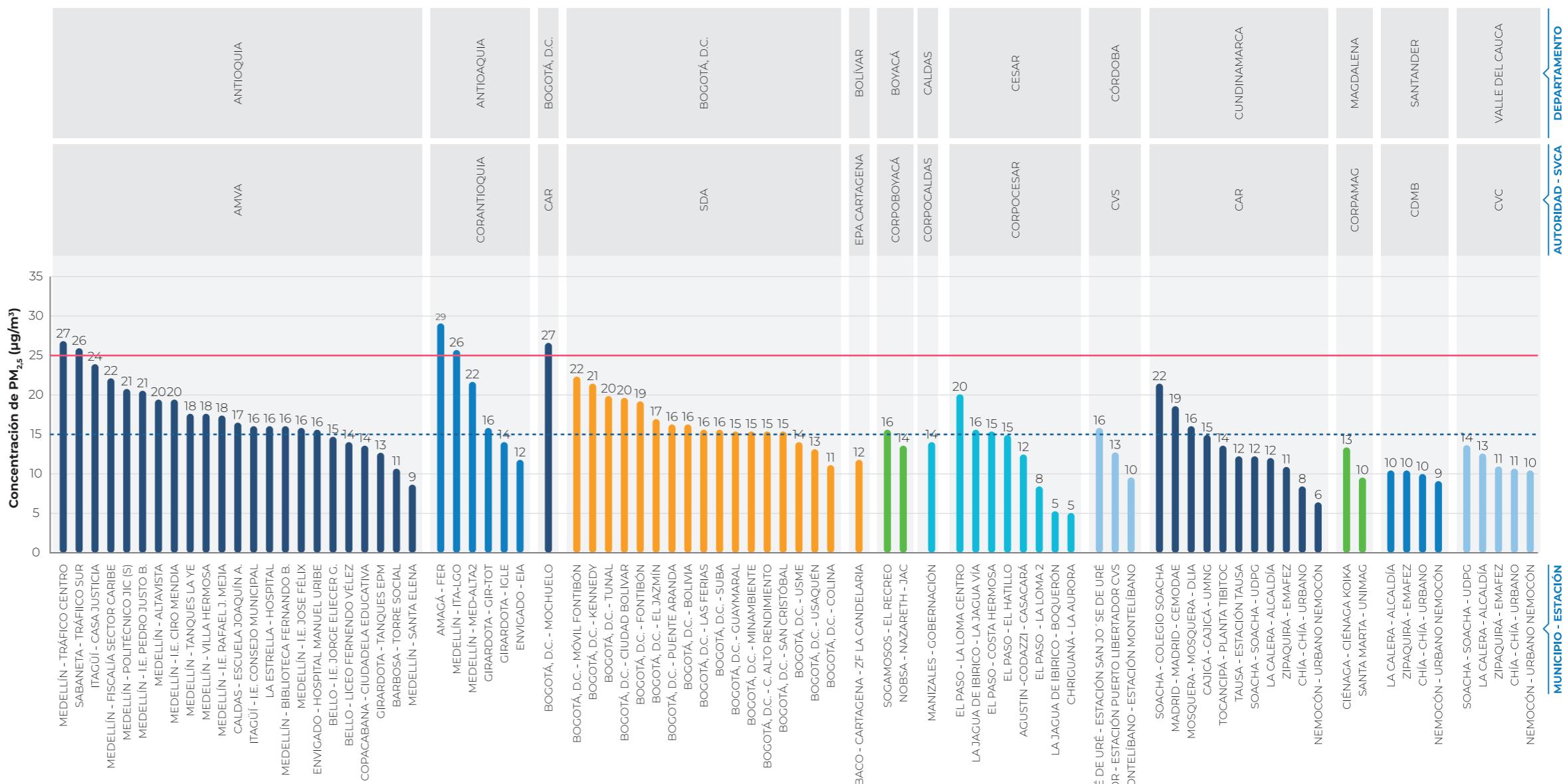
4 estaciones excedieron dicho referente normativo vigente, las cuales están ubicadas en:

- Sabaneta, Amagá y Medellín (2), Antioquia
- Bogotá, D.C.

Aumentaron en 19,7 % las estaciones en situación de cumplimiento en relación con el año 2021.

47,6 %

de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual proyectado a 2030 ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

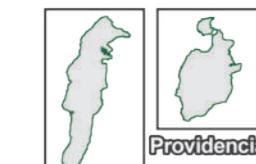


Res. 2254/2017

Res. 2254/2017 a 2030

Fuente: Ideam (2022).

 **Infografía 11.** Concentraciones anuales de Material particulado menor a 2,5 micras - clasificación de acuerdo con las recomendaciones de la OMS y normativa vigente, estaciones representativas, año 2022



Providencia

San Andrés

Bello

Caldas

Medellín

Itagüí

Envigado

Córdoba

Barbosa

Girardota

Copacabana

Antioquia

Cesar

Magdalena

Atlántico

Sucre

Bolívar

Norte de Santander

Córdoba

Bogotá

Cundinamarca

Bogotá D.C.

Cundinamarca

Caldas

Chocó

Risaralda

Quindío

Valle del Cauca

Tolima

Cauca

Huila

Putumayo

Caquetá

Guaviare

Vichada

Meta

Guainía

Nariño

Amazonas

Vaupés

Tausa

Nemocón

Zipaquirá

Cajicá

Tocancipá

Chía

Madrid

Mosquera

Soacha

La Calera

Cundinamarca

Bogotá

Cundinamarca

Bogotá D.C.

Cundinamarca

Caldas

Chocó

Risaralda

Quindío

Valle del Cauca

Tolima

Cauca

Huila

Putumayo

Caquetá

Guaviare

Vichada

Meta

Guainía

Nariño

Amazonas

Vaupés

Tausa

Nemocón

Zipaquirá

Cajicá

Tocancipá

Chía

Madrid

Mosquera

Soacha

La Calera

Cundinamarca

Bogotá

Cundinamarca

Bogotá D.C.

Cundinamarca

Caldas

Chocó

Risaralda

Quindío

Valle del Cauca

Tolima

Cauca

Huila

Putumayo

Caquetá

Guaviare

Vichada

Meta

Guainía

Nariño

Amazonas

Vaupés

Tausa

Nemocón

Zipaquirá

Cajicá

Tocancipá

Chía

Madrid

Mosquera

Soacha

La Calera

Cundinamarca

Bogotá

Cundinamarca

Bogotá D.C.

Cundinamarca

Caldas

Chocó

Risaralda

Quindío

Valle del Cauca

Tolima

Cauca

Huila

Putumayo

Caquetá

Guaviare

Vichada

Meta

Guainía

Nariño

Amazonas

Vaupés

Tausa

Nemocón

Zipaquirá

Cajicá

Tocancipá

Chía

Madrid

Mosquera

Soacha

La Calera

Cundinamarca

Bogotá

Cundinamarca

Bogotá D.C.

Cundinamarca

Caldas

Chocó

Risaralda

Quindío

Valle del Cauca

Tolima

Cauca

Huila

Putumayo

Caquetá

Guaviare

Vichada

Meta

Guainía

Nariño

Amazonas

Vaupés

Tausa

Nemocón

Zipaquirá

Cajicá

Tocancipá

Chía

Madrid

Mosquera

Soacha

La Calera

Cundinamarca

Bogotá

Cundinamarca

Bogotá D.C.

Cundinamarca

Caldas

Chocó

Risaralda

Quindío

Valle del Cauca

Tolima

Cauca

Huila

Putumayo

Caquetá

Guaviare

Vichada

Meta

Guainía

Nariño

Amazonas

Vaupés

Tausa

Nemocón

Zipaquirá

Cajicá

Tocancipá

Chía

Madrid

Mosquera

Soacha

La Calera

Cundinamarca

Bogotá

Cundinamarca

Bogotá D.C.

Cundinamarca

Caldas

Chocó

Risaralda

Quindío

Valle del Cauca

Tolima

Cauca

Huila

Putumayo

Caquetá

Guaviare

Vichada

Meta</div

4.2.2. TENDENCIA MULTIANUAL 2011-2022

7 estaciones

muestran una tendencia al aumento en los últimos años:

- Mochuelo (Bogotá, D.C.)
- Tráfico sur (Sabaneta)
- Tráfico centro (Medellín)
- Fiscalía sector Caribe (Medellín)
- ITA-LGO (Medellín)
- Casa Justicia (Itagüí)
- Colegio Soacha (Soacha)

Ninguna estación presentó una tendencia hacia la baja respecto al año anterior.

Las zonas en donde se sitúan las estaciones que evidencian una tendencia al crecimiento de las concentraciones de este contaminante requieren una atención prioritaria por parte de las autoridades ambientales competentes, debido a la necesidad de implementar o potenciar las estrategias para la disminución paulatina de las concentraciones de PM_{2,5}.



Figura 29. Top 10 de estaciones con máximas concentraciones anuales de material particulado menor a 2,5 micras – tendencia multianual, estaciones representativas, años 2011-2022



Fuente: Ideam (2022).

4.2.3. EXCEDENCIAS AL NIVEL MÁXIMO PERMISIBLE DIARIO

47 estaciones registraron excedencias al nivel máximo permisible diario ($37 \mu\text{g}/\text{m}^3$), lo que corresponde al 55,9 % del total de las estaciones.

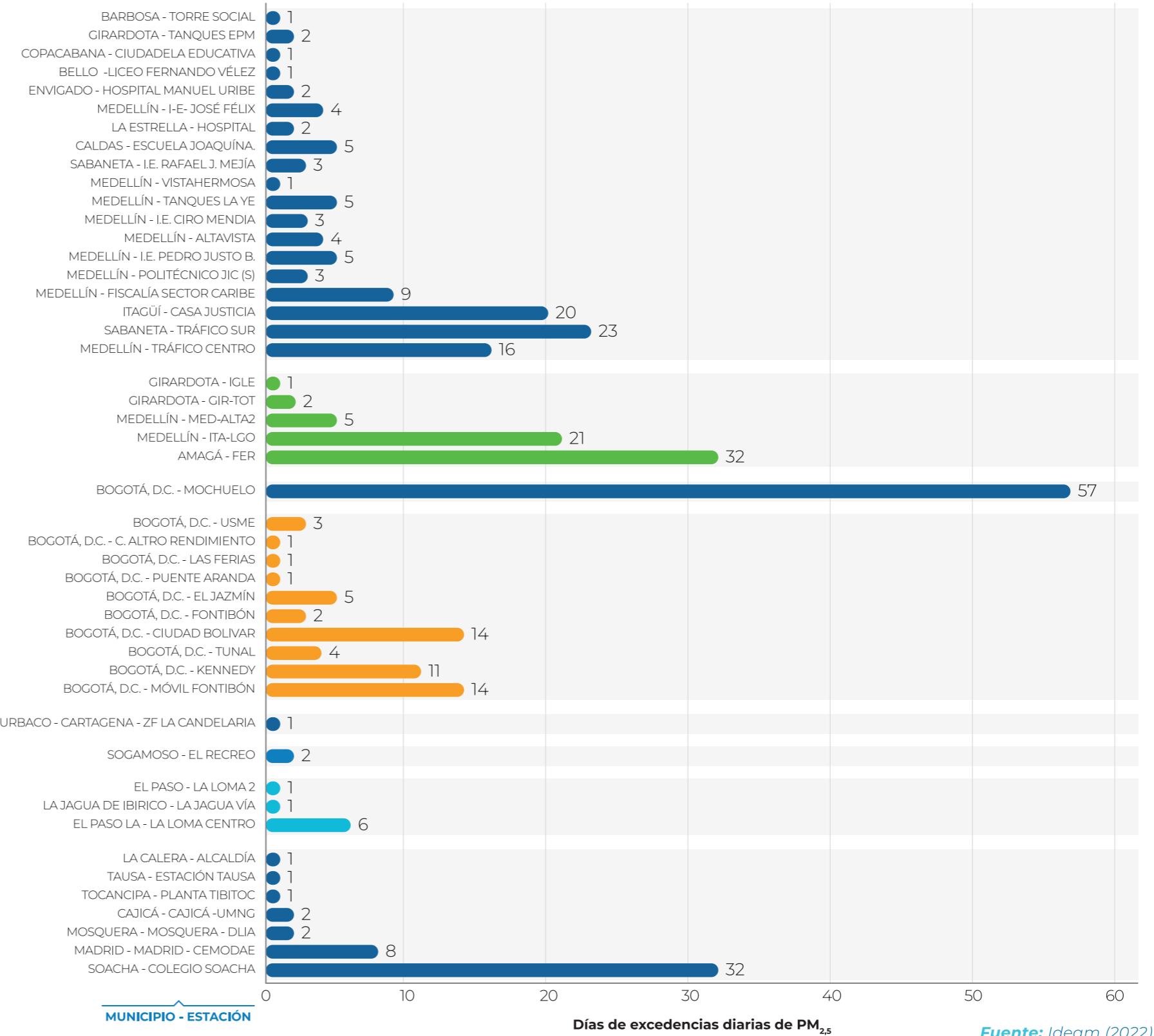
1 estación reportó más de 50 días excediendo la norma diaria:
→ Mochuelo (Bogotá, D. C.) con 57 días

5 estaciones reportaron entre 20 y 32 días excediendo la norma diaria:
→ FER (Amagá, Antioquia) con 32 días
→ Colegio (Soacha, Cundinamarca) con 32 días
→ ITA-LGO (Medellín, Antioquia) con 24 días
→ Casa Justicia (Itagüí, Antioquia) con 20 días
→ Tráfico sur (Sabaneta, Antioquia) con 23 días

41 estaciones reportaron menos de 16 días excediendo la norma diaria.

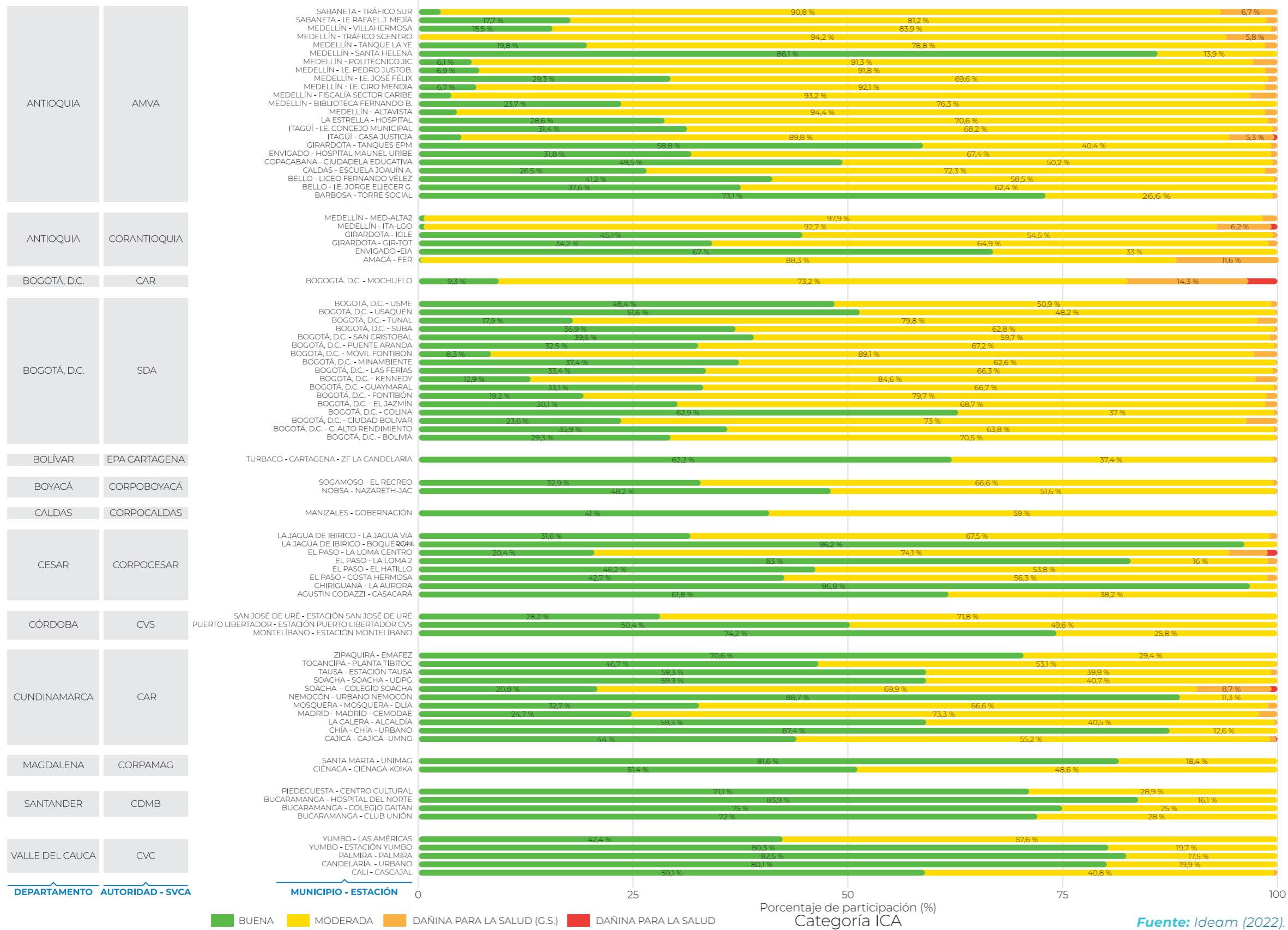
Aumentaron en un 17.5 % las estaciones que registraron excedencias al nivel máximo permisible diario, con respecto al año 2021.

Es aconsejable que las autoridades ambientales competentes ejecuten o refuerzen el monitoreo en las estaciones que presentan excedencias a la norma en períodos de exposición cortos, para establecer con claridad las principales fuentes de emisión y demás dinámicas clave y así fortalecer o redireccionar las medidas para mitigar las emisiones, y consecuentemente el número de excedencias al nivel máximo permisible diario de $\text{PM}_{2.5}$ en el aire ambiente.



Fuente: Ideam (2022).

4.2.4. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE



Fuente: Ideam (2022).



Figura 31. Proporción de datos del índice de calidad del aire para material particulado menor a 2,5 micras – estaciones representativas, año 2022 o menor a 2,5 micras – estaciones representativas, año 2022

84

estaciones reportaron representatividad temporal adecuada.

29

estaciones reportaron, en proporciones mayoritarias (en más del 50 % del tiempo de monitoreo), un estado de la calidad del aire bueno.

49

estaciones reportaron en proporciones mayoritarias (en más del 50 % del tiempo de monitoreo), un estado de la calidad del aire aceptable.

57

estaciones reportaron, en proporciones inferiores al 15 %, un estado de la calidad del aire dañino para la salud de grupos sensibles. 1 estación con mayor proporción en esta categoría:

→ Mochuelo (Bogotá, D. C.) con 14.3 %.

5

estaciones registraron en menos del 1 % (del tiempo de monitoreo) un estado de la calidad del aire dañino para la salud. 1 estación registró esta categoría en porcentajes levemente superiores:

→ Mochuelo (Bogotá, D. C.) con un 3.2 %.

Frente al análisis de la ponderación del índice de calidad del aire para PM_{2,5}, ilustrado en la Figura 31, se observa que un poco más de la tercera parte de las estaciones (34,5 %, 29 estaciones) reportaron un estado de la calidad del aire aceptable, lo cual podría implicar posibles síntomas respiratorios en grupos poblacionales sensibles. Esto indica que las autoridades ambientales a nivel local pueden implementar estrategias que conlleven a la reducción de la incidencia de esta categoría de la calidad del aire, con el fin de reducir los impactos en la salud de la población.

Por otro lado, la categoría dañina para la salud de grupos sensibles (personas con enfermedades cardíacas o pulmonares, niños, adultos mayores, mujeres gestantes) se reportó en el 67,9 % de las estaciones (57 estaciones); los porcentajes de ocurrencia por lo general fueron inferiores al 14,3 %, siendo la estación Mochuelo, ubicada en la ciudad de Bogotá, la que presentó el valor anteriormente mencionado en dicha categoría. En cuanto a la categoría dañina para la salud, que corresponde a la más alta reportada, se alcanzó en 5 estaciones (6 %) con porcentajes de ocurrencia comprendidos entre el 0,1 % y 3 % del total tiempo de monitoreo. La estación ubicada en la ciudad de Bogotá (Mochuelo) tuvo el mayor porcentaje de ocurrencia (3,2 %).

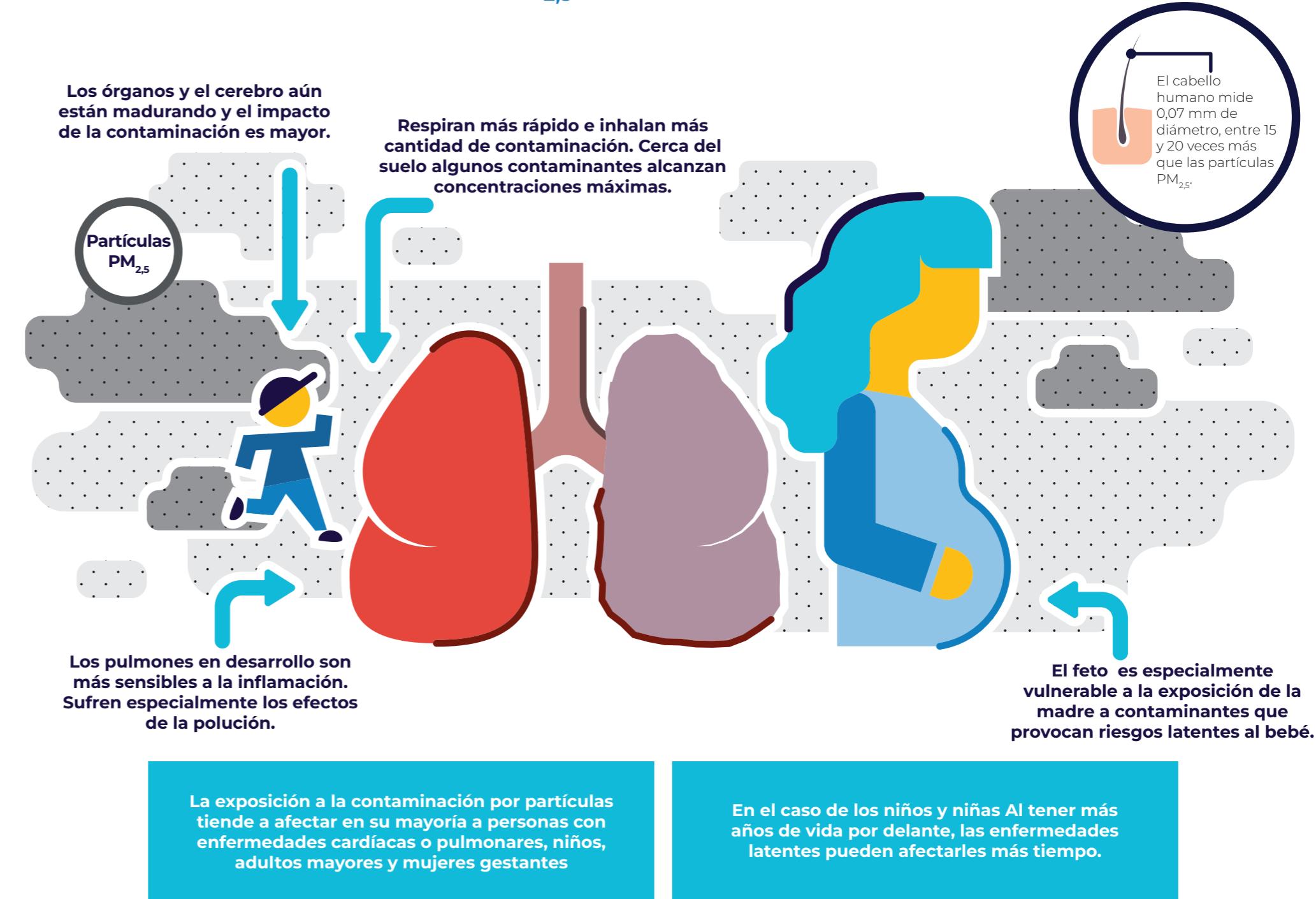
Los anteriores resultados reflejan la necesidad de fortalecimiento de las estrategias y planes de descontaminación del aire que vienen implementando las autoridades ambientales en sus respectivas jurisdicciones, con el fin de mitigar los impactos a la salud pública generados por PM_{2,5}.

Las partículas que tienen un diámetro de 2,5 micrones o menos (PM_{2,5}) resultan aún más dañinas para la salud. El PM_{2,5} puede atravesar la barrera pulmonar y entrar en el sistema sanguíneo. La exposición crónica al material particulado contribuye al riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como cáncer de pulmón (Organización Mundial de la Salud, 2021).

Grupos Sensibles



CÓMO NOS AFECTAN LAS PM_{2,5}



Fuente: Greenpeace (2021).

4.2.5. CONCENTRACIONES PROMEDIO ANUALES - INDICATIVAS

61 estaciones no cumplieron con el porcentaje de representatividad temporal mínimo (75 %). De estas estaciones, hubo 50 con el mínimo de datos diarios (18).

Disminuyeron en 1.6 % las estaciones que no cumplieron con los criterios de calidad, en relación con el año 2021.

49 estaciones cumplieron de forma indicativa con el nivel máximo permisible anual vigente ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

1 estación excedió de forma indicativa el referente normativo vigente, ubicada en:
→ Carvajal - Sevillana (Bogotá, D. C.)

34 estaciones cumplieron de forma indicativa con el nivel máximo permisible anual proyectado a 2030 ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Estas concentraciones se presentan con la intención de identificar estaciones que podrían reflejar indicios de contaminación atmosférica, las cuales son de especial interés y atención por parte de las autoridades ambientales competentes, para que se orienten esfuerzos técnicos y operativos que permitan mejorar la calidad del dato y aportar información valiosa para el entendimiento del comportamiento de este contaminante en el área de influencia que soporte la toma de decisiones.



El número que se muestra por encima de cada barra representa el promedio anual del contaminante mientras que el ubicado entre paréntesis es el número de muestras válidas tomadas durante el año.

Fuente: Ideam (2022).

4.3. DIÓXIDO DE NITRÓGENO - NO₂

4.3.1. CONCENTRACIONES PROMEDIO ANUALES

35 estaciones con representatividad temporal adecuada.

100%

de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual vigente ($60 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Se mantuvo la misma situación de cumplimiento en relación con el año 2021.

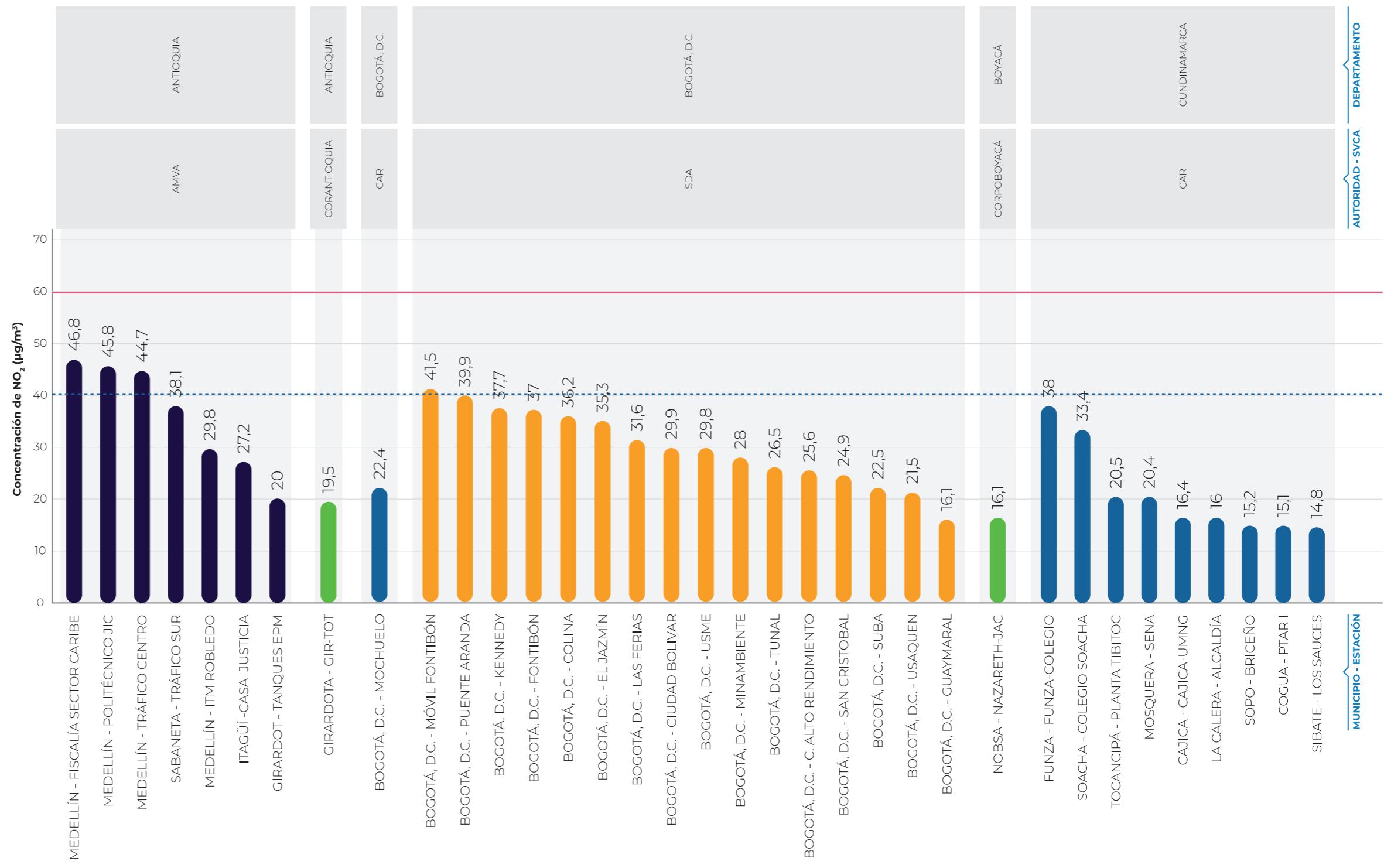
Ninguna estación superó el nivel máximo permisible anual.

88,5 %

de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual proyectado a 2030 ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

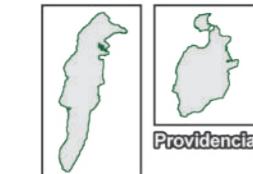


Figura 33. Concentraciones anuales de Dióxido de Nitrógeno – estaciones representativas, año 2022

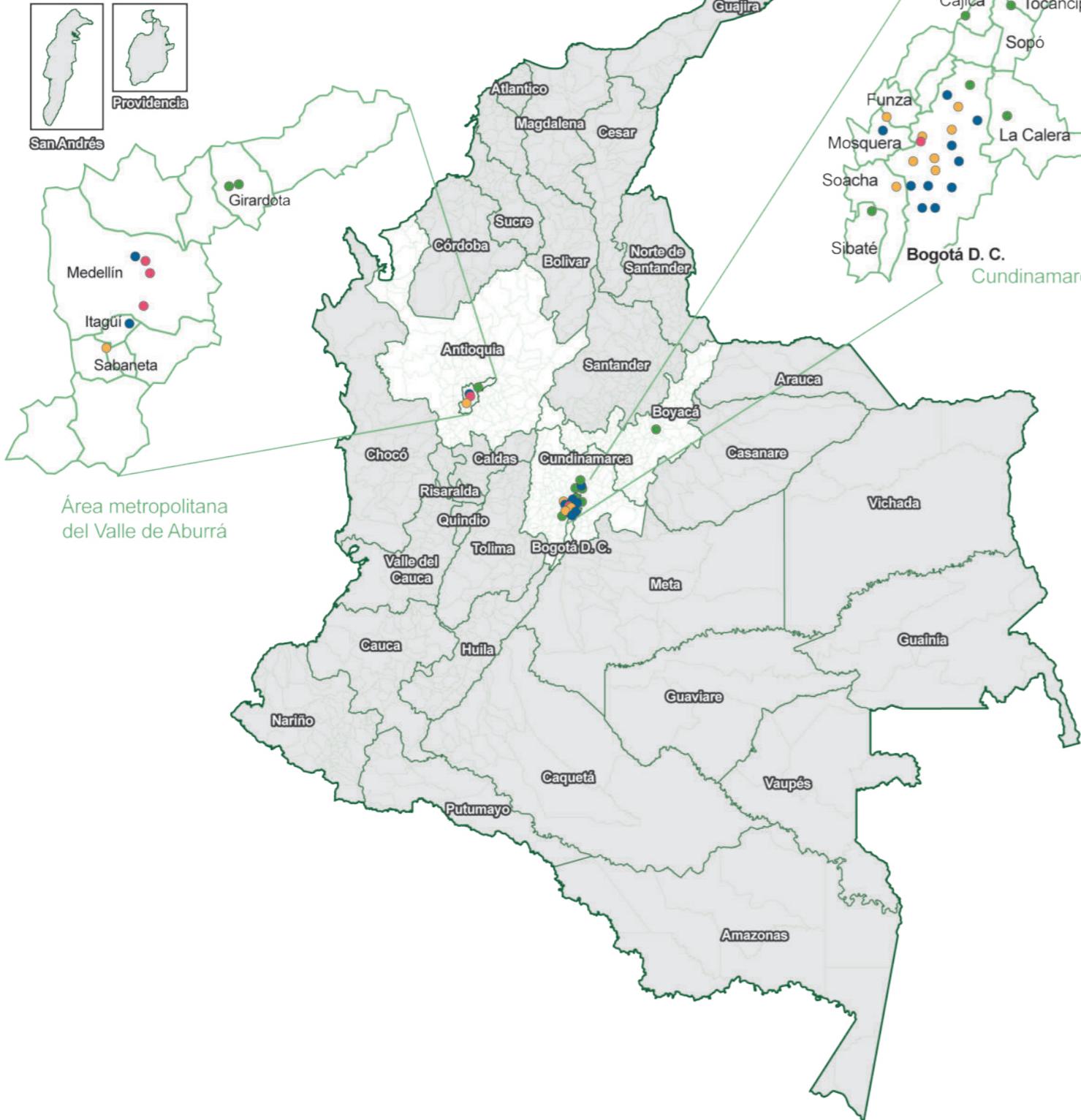


Fuente: Ideam (2022).

 **Infografía 12.** Concentraciones anuales de Dióxido de Nitrógeno – clasificación de acuerdo con las recomendaciones de la OMS y normativa vigente, estaciones representativas, año 2022



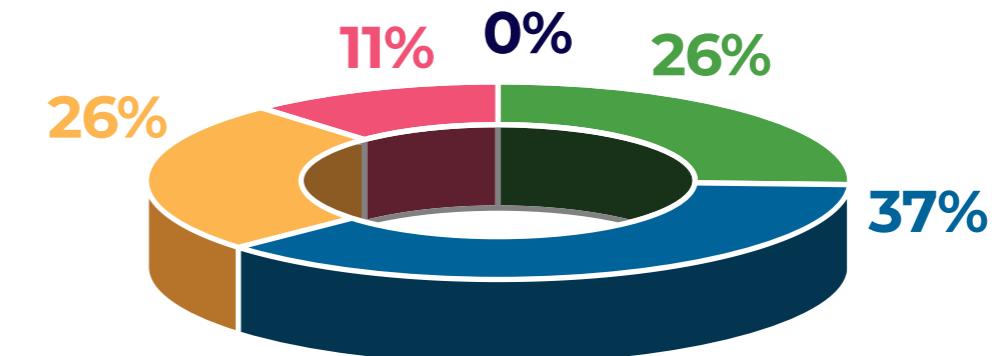
Providencia



Fuente: elaboración propia.

SVCA	Clasificación de acuerdo con las recomendaciones de la OMS y normativa vigente	No. estaciones
	Se ajusta al valor guía de la OMS ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$)	0
	Se ajusta al Objetivo Intermedio 3 de la OMS	9
AMVA	Tanques EPM	1
Corantioquia	Gir-Tot	1
CAR	Alcaldía, Briceño, Los Sauces, Cajica-UMNG, PTAR I	5
Corpoboyacá	Nazareth-JAC	1
SDA	Guaymaral	1
	Se ajusta al Objetivo Intermedio 2 de la OMS ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$)	13
AMVA	Casa justicia, Itm Robledo	2
CAR	Sena, Planta Tibitoc, Mochuelo	3
SDA	Usaquén, C. Alto Rendimiento, San Cristóbal, Suba, Tunal, Usme, Minambiente, Ciudad Bolívar	8
	Se ajusta al Objetivo Intermedio 1 de la OMS ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$)	9
AMVA	Tráfico sur	1
CAR	Colegio Soacha, Funza-Colegio	2
SDA	Colina, El Jazmín, Fontibón, Kennedy, Las Ferias, Puente Aranda	6
	No se ajusta al Objetivo Intermedio 1 ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) pero cumple con la Res. 2254/17 (Vigente) ($60 \mu\text{g}/\text{m}^3$)	4
AMVA	Fiscalía Sector Caribe, Tráfico centro, Politécnico JIC	3
SDA	Móvil Fontibón	1

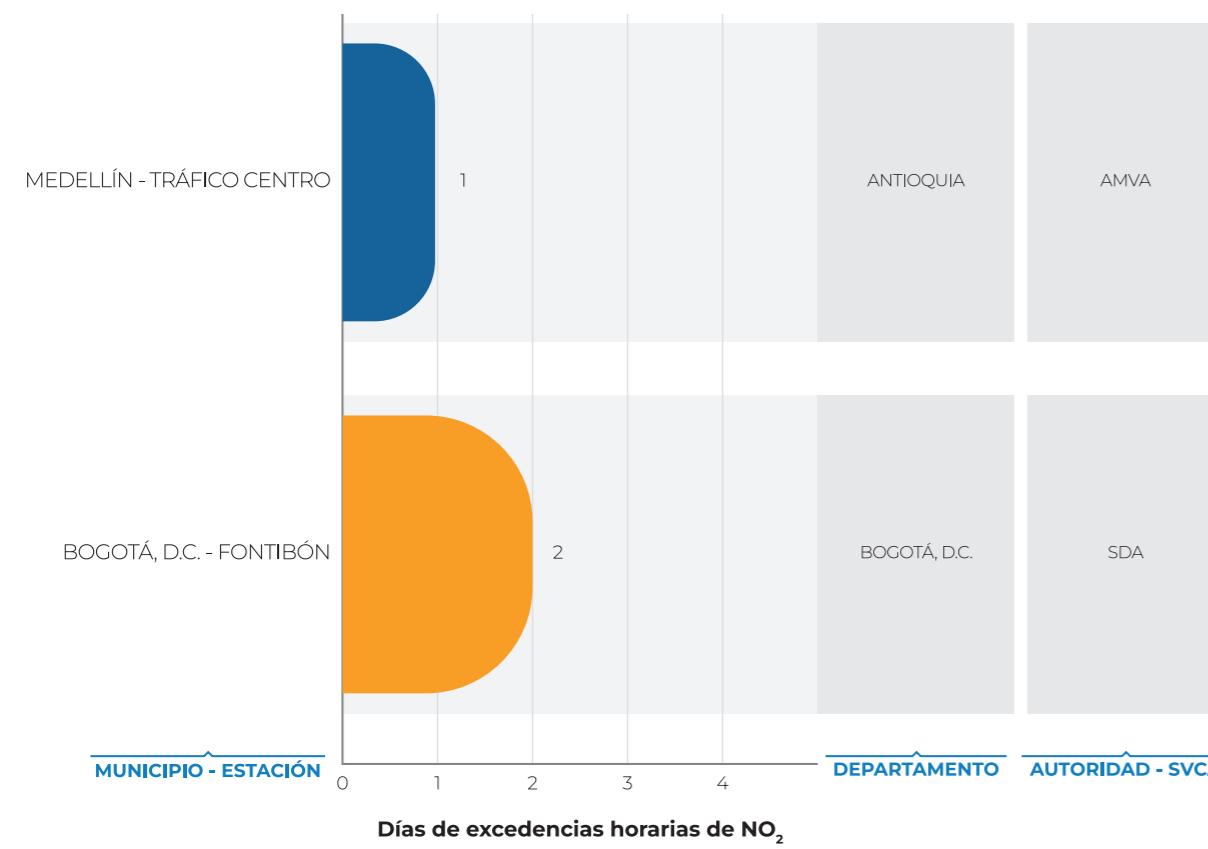
Porcentaje por estaciones



- Se ajusta al valor guía de la OMS ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Se ajusta al Objetivo Intermedio 3 de la OMS ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Se ajusta al Objetivo Intermedio 2 de la OMS ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Se ajusta a la Res. 2254/2017 (a 2030) - Objetivo Intermedio 1 de la OMS ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$)
- No se ajusta al Objetivo Intermedio 1 de la OMS ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) pero cumple con la Res. 2254/17 - vigente ($60 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

4.3.2. EXCEDENCIAS AL NIVEL MÁXIMO PERMISIBLE HORARIO

Figura 34. Días con excedencias al nivel máximo permisible horario de dióxido de nitrógeno - estaciones representativas. año 2022



2 estaciones registraron excedencias al nivel máximo permisible horario ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$), lo que corresponde al 4 % del total de las estaciones:

- Tráfico-Centro (Medellín) con 1 día excediendo la norma horaria.
- Fontibón (Bogotá, D. C.) con 2 días excediendo la norma horaria.

Es importante destacar que las estaciones mencionadas no registraron niveles superiores a la norma anual. Según la serie temporal se observó un breve episodio de contaminación, probablemente vinculado a un aumento en la actividad del tráfico vehicular cercano y a condiciones meteorológicas que favorecieron una mayor dispersión de dicho contaminante.

Aumentó el número de estaciones que registraron excedencias al nivel máximo permisible horario con respecto al año 2021.

4.3.3. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE

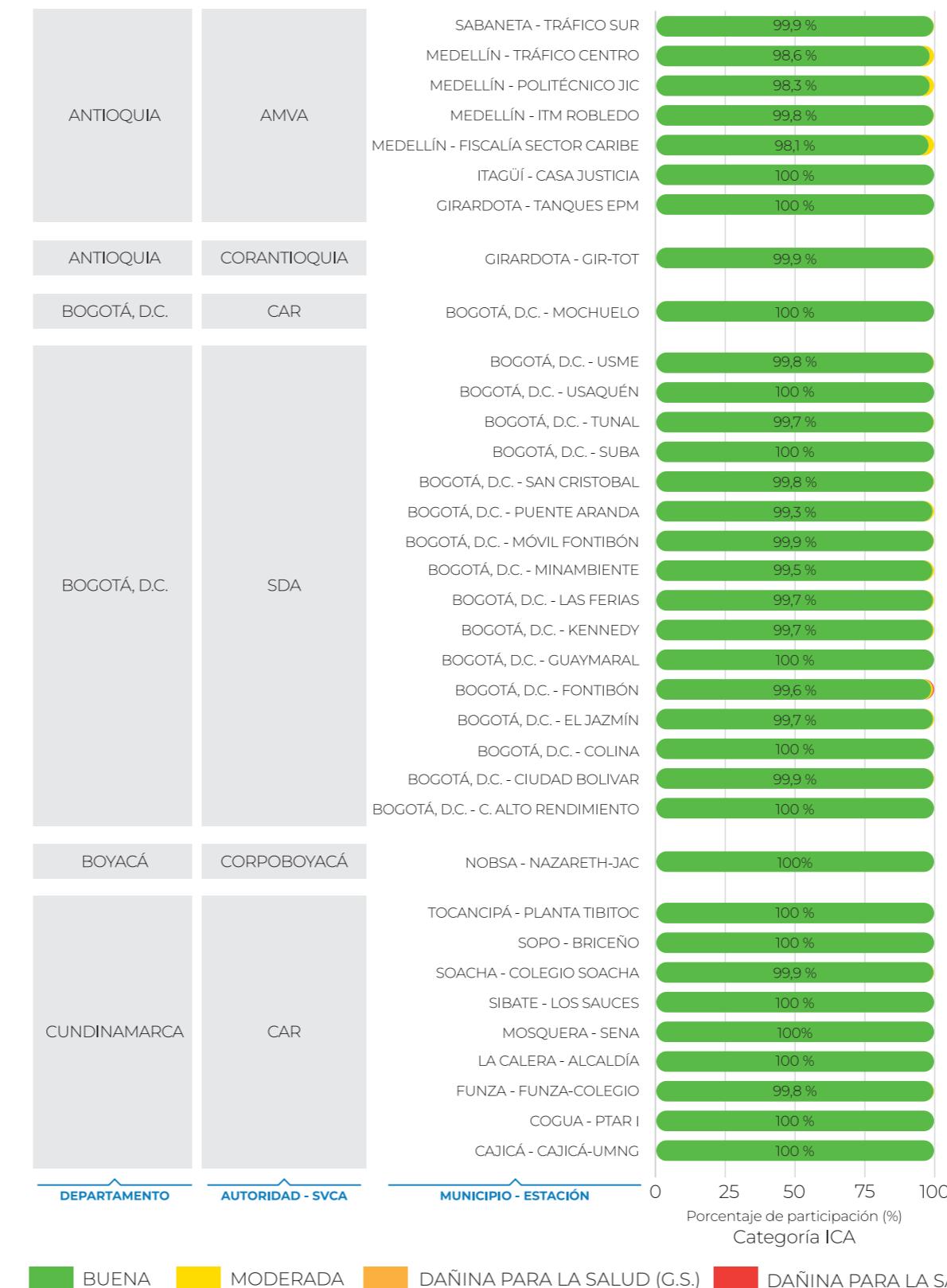


Figura 35. Proporción de datos del índice de calidad del aire para dióxido de nitrógeno - estaciones representativas, año 2022

35

estaciones reportaron, en proporciones mayoritarias (en más del 50 % del tiempo de monitoreo), un estado de la calidad del aire bueno.

19

estaciones reportaron la categoría aceptable, con porcentajes que varían entre 0,1 y 1,9 % del total del tiempo de monitoreo.

La estación Fontibón (Bogotá) reportó la categoría dañina para la salud de grupos poblacionales sensibles, no obstante, dicha categoría se reportó en menos del 0,1 % del total del tiempo de monitoreo.

Para el 2022, ninguna estación reportó la categoría:

- Dañina para la salud

4.3.4. CONCENTRACIONES PROMEDIO ANUALES - INDICATIVAS

15 estaciones no cumplieron con el porcentaje de representatividad temporal mínimo (75 %) ni con el mínimo de datos diarios (18).

Disminuyeron en un 50 % las estaciones que no cumplieron con los criterios de calidad, en relación con el año 2021.

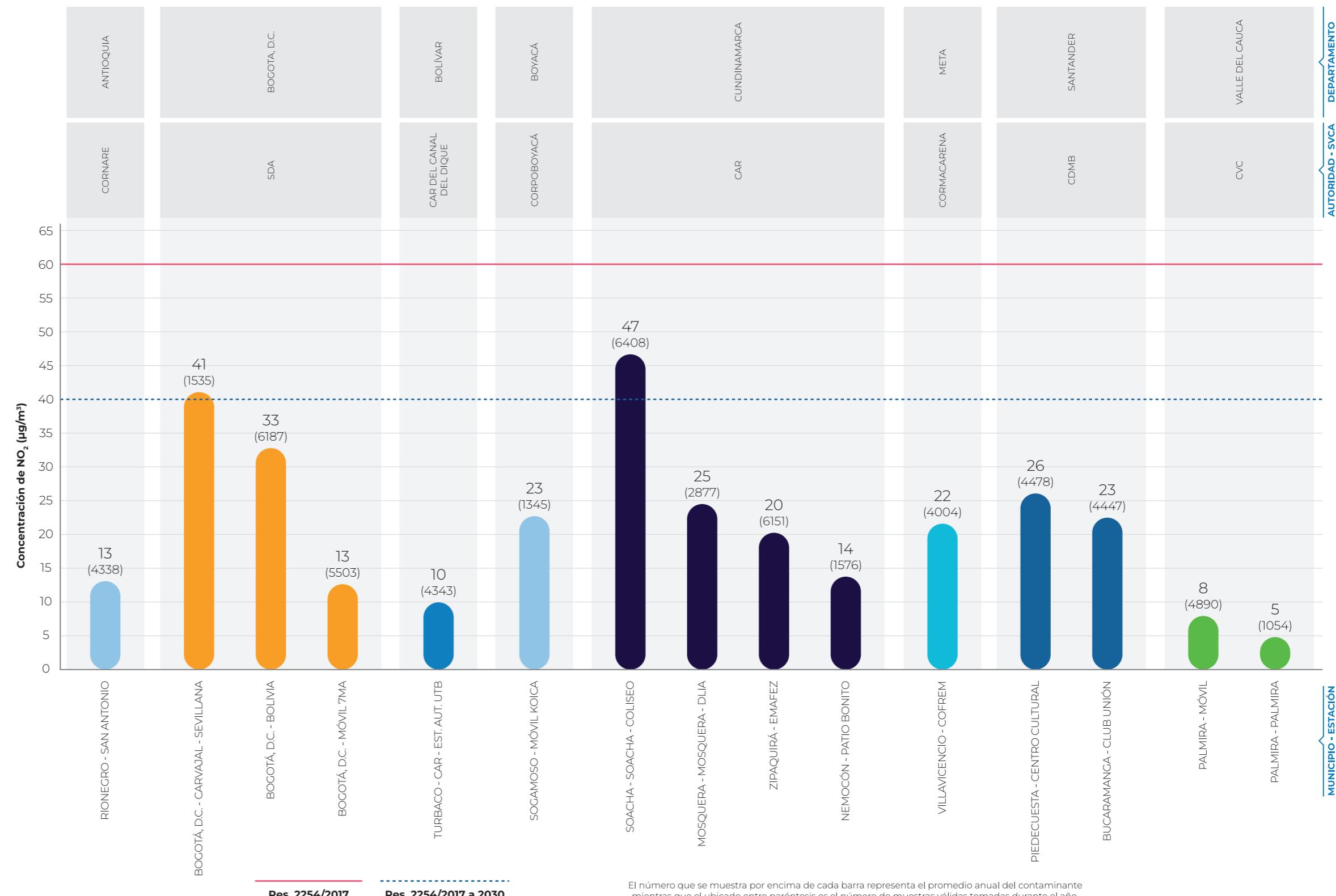
15 estaciones cumplieron de forma indicativa con el nivel máximo permisible anual vigente ($60 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

13 estaciones cumplieron de forma indicativa con el nivel máximo permisible anual proyectado a 2030 ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Se valora el compromiso de las autoridades ambientales y los esfuerzos que se realizan para mejorar la calidad de los datos. Estas iniciativas contribuyen a proporcionar a la ciudadanía información más precisa y completa sobre el estado de la calidad del aire.



Figura 36. Concentraciones anuales de dióxido de nitrógeno – estaciones no representativas, año 2022



Fuente: Ideam (2022).

4.4. DIÓXIDO DE AZUFRE - SO₂

4.4.1. CONCENTRACIONES PROMEDIO ANUALES

34 estaciones tuvieron una representatividad temporal adecuada (con respecto a tiempos de medición de 1 hora).

Las concentraciones anuales de este contaminante oscilaron entre 1,1 y 20 µg/m³.

Las estaciones de monitoreo que señalaron las máximas concentraciones (superiores a 15 µg/m³) se ubican en:

- Mochuelo, Bogotá, D. C.
- Estación Paipa, Paipa

Las estaciones con concentraciones medias comprendidas entre 10 y 15 µg/m³ se ubican en:

- Urbano Ráquira, Ráquira
- Colegio Soacha, Soacha

En las 30 estaciones restantes se reportaron concentraciones anuales bajas (inferiores a 10 µg/m³).

Estas concentraciones anuales se presentan de manera indicativa, debido a que la normativa vigente (resolución 2254 de 2017) para SO₂ no establece un límite máximo permitido para un periodo de exposición prolongado (anual), por esta razón, no se lleva a cabo la comparación normativa correspondiente.

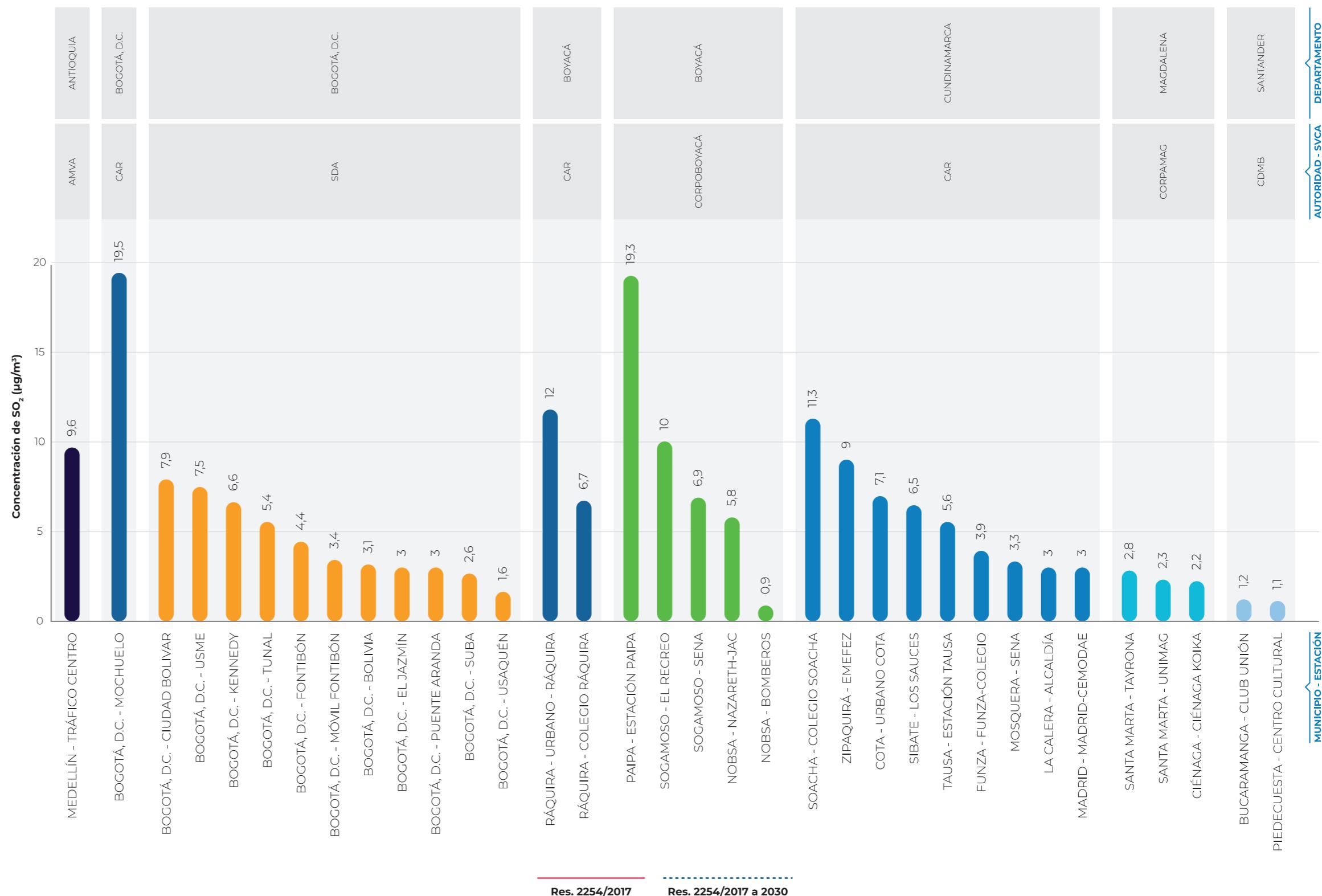


Figura 37. Concentraciones anuales de Dióxido de Azufre – estaciones representativas, año 2022

Fuente: Ideam (2022).

4.4.2. EXCEDENCIAS AL NIVEL MÁXIMO PERMISIBLE HORARIO

7 estaciones registraron excedencias al nivel máximo permisible horario ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$), lo que corresponde al 20,5 % del total de las estaciones.

3 La estación que reportó más días excediendo la norma horaria fue:
→ Estación Paipa (Paipa) con 68 días

En segundo lugar, la estación que reportó el mayor número de días excediendo la norma horaria fue:
→ Sena (Sogamoso) con 20 días

Las restantes 5 estaciones reportaron entre 1 y 7 días excediendo la norma horaria.

Se mantuvo el número de estaciones que registraron excedencias al nivel máximo permisible diario con respecto al año 2021.

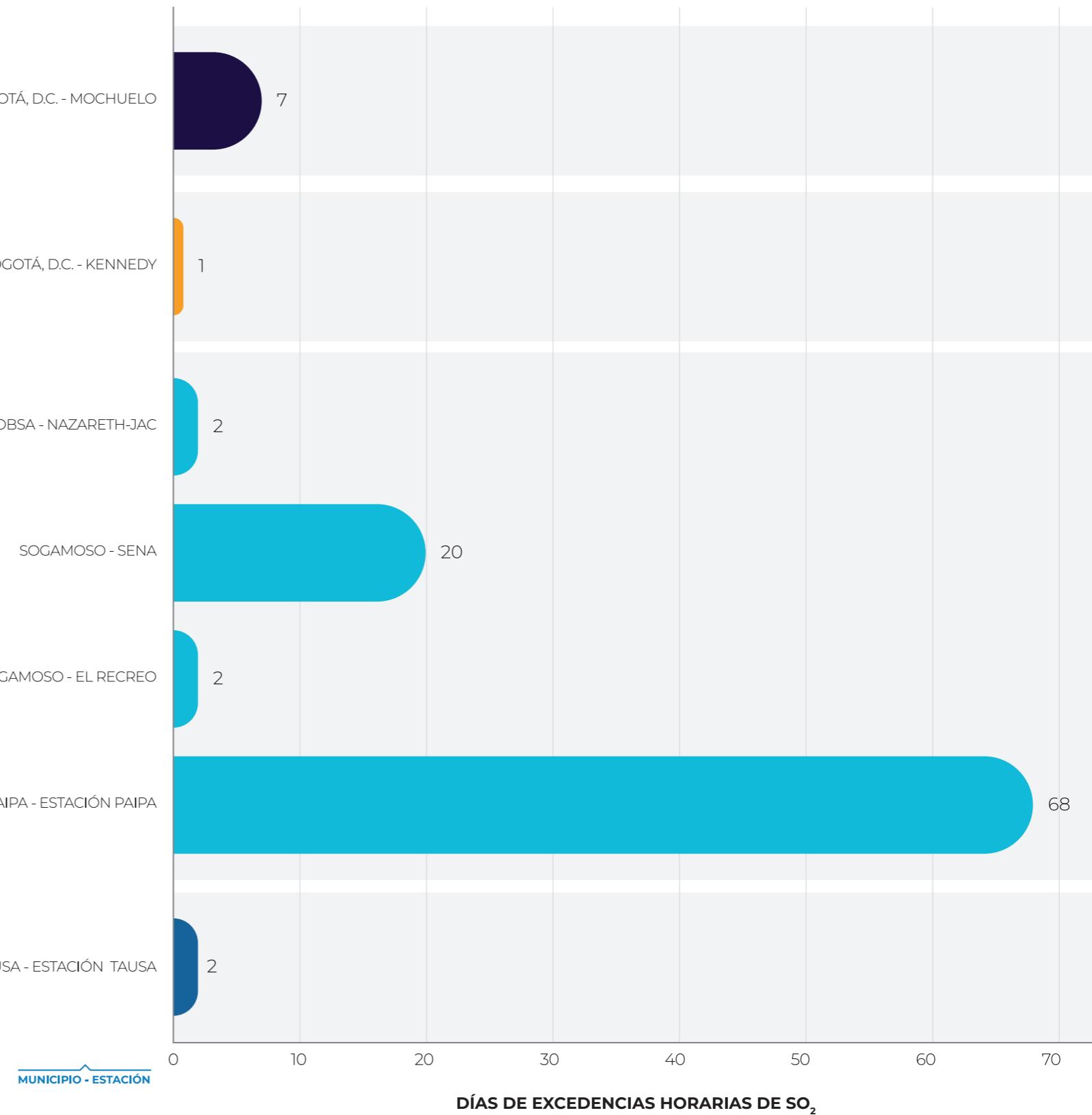
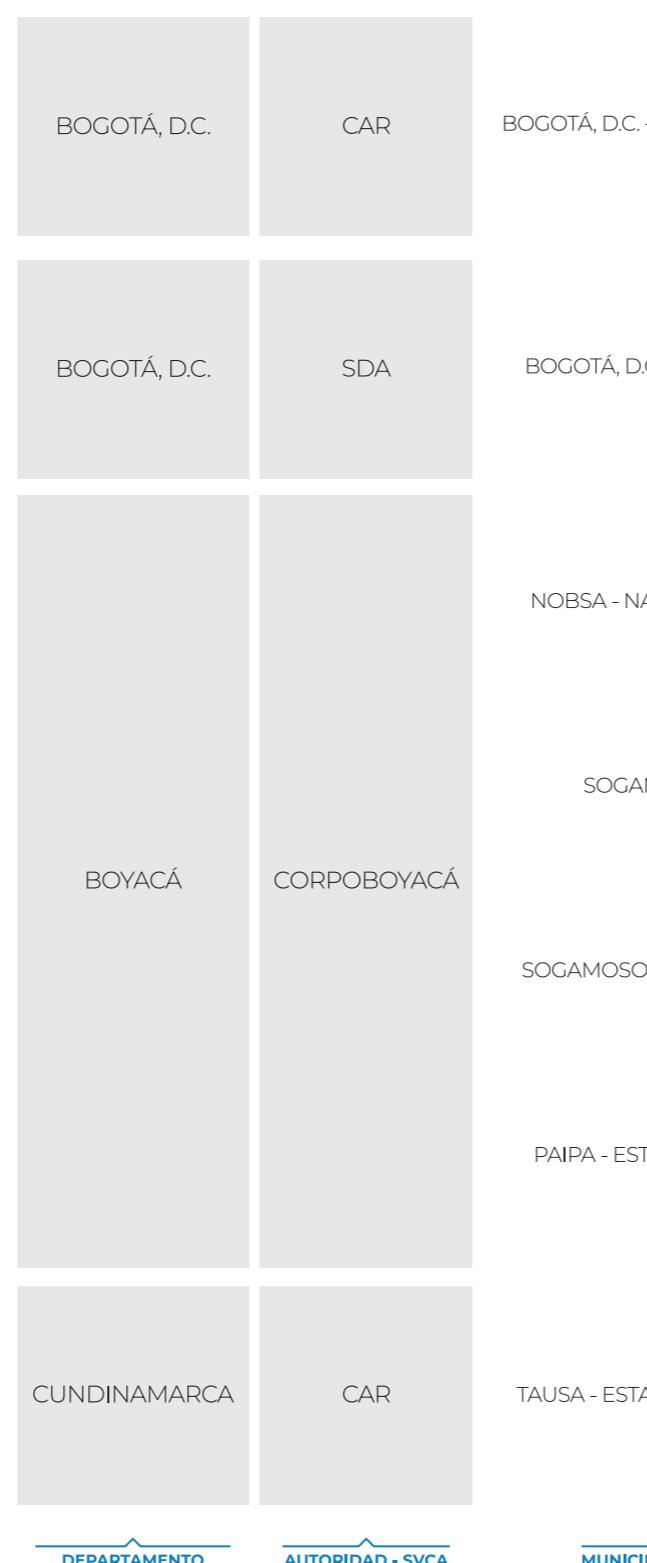


Figura 38. Días con excedencias al nivel máximo permisible horario de dióxido de azufre - estaciones representativas, año 2022

4.4.3. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE

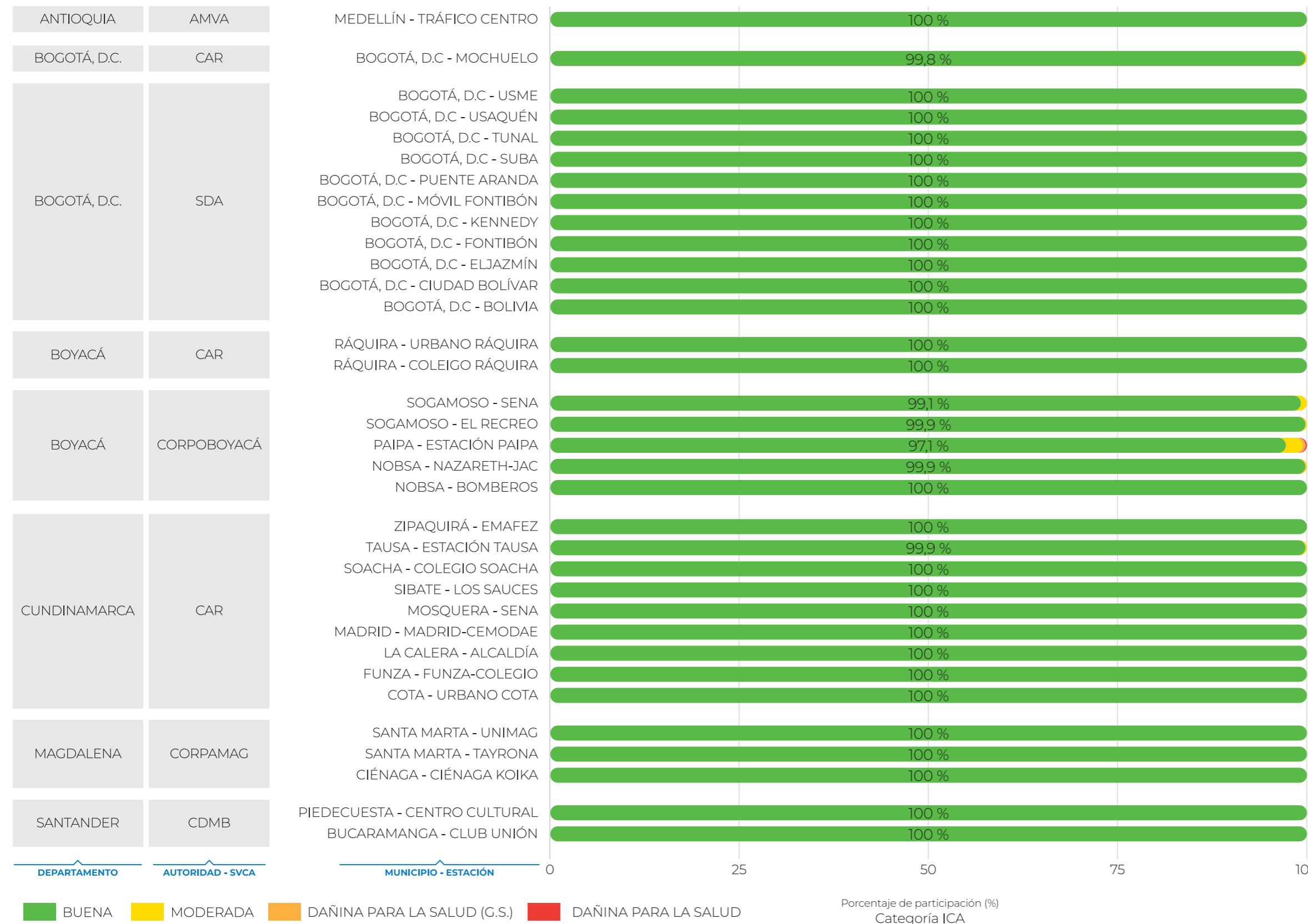


Figura 39. Proporción de datos del Índice de calidad del aire para Dióxido de Azufre - estaciones representativas, año 2022

34 estaciones reportaron, en proporciones mayoritarias (en más del 50 % del tiempo de monitoreo), un estado de la calidad del aire bueno.

6 estaciones reportaron la categoría aceptable, con porcentajes que varían entre 0,1 y 2,1 % del total del tiempo de monitoreo.

La estación Paipa (Paipa, Boyacá) reportó la categoría dañina para la salud de grupos poblacionales sensibles; no obstante, dicha categoría se reportó en menos del 0,7 % del total del tiempo de monitoreo.

En el 2022 ninguna estación reportó la categoría:
→ Dañina para la salud

Fuente: Ideam (2022).

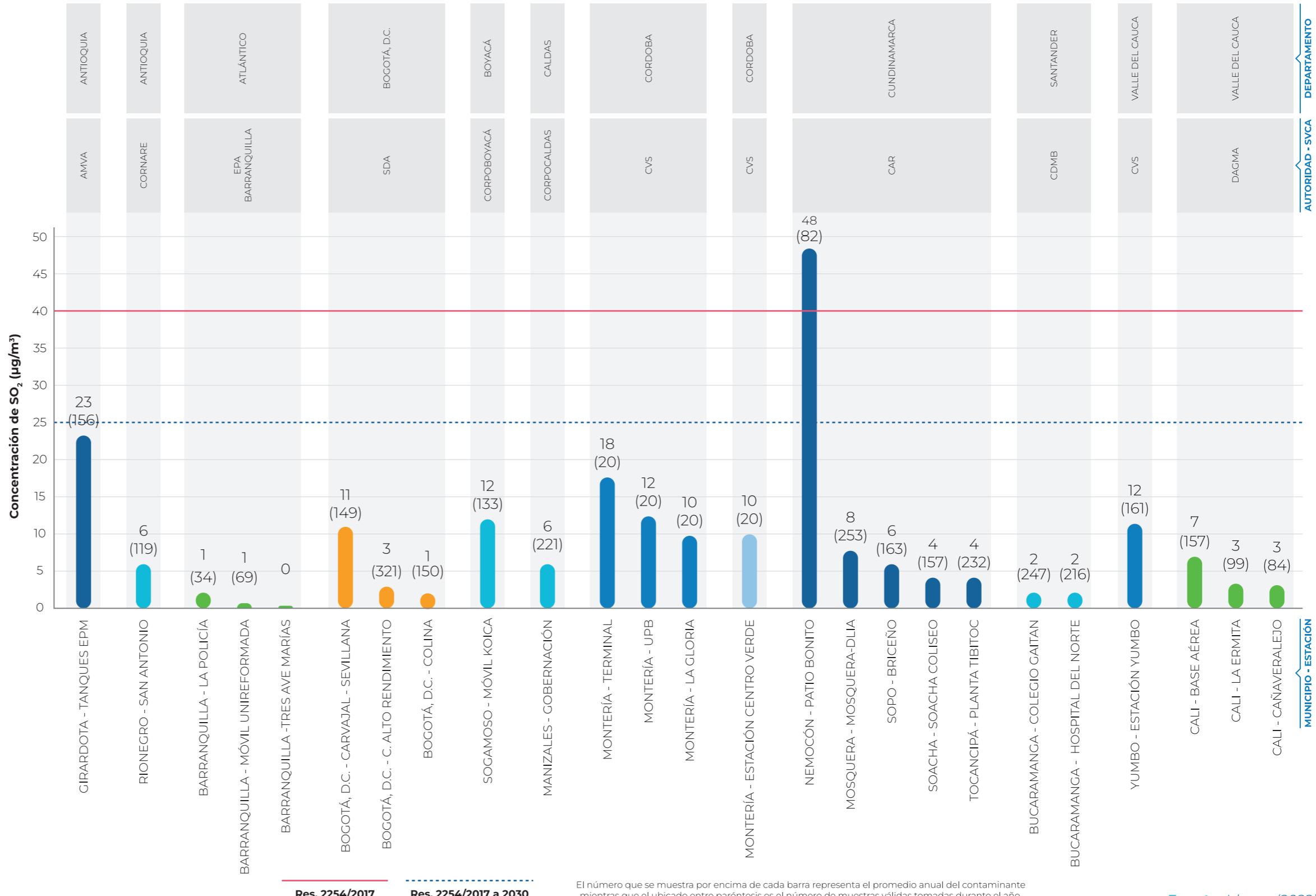
4.4.4. CONCENTRACIONES PROMEDIO ANUALES - INDICATIVAS

25 estaciones no cumplieron con el porcentaje de representatividad temporal mínimo del 75 % (con respecto a tiempos de medición de 24 horas) ni con el mínimo de datos diarios (18).

Disminuyeron en 22 % las estaciones que no cumplieron con los criterios de calidad, en relación con el año 2021.

Se debe prestar especial atención a la estación Patio Bonito en Nemocón (Cundinamarca), ya que reflejó la máxima concentración anual (indicativa).

Resulta crucial que las autoridades ambientales dirijan esfuerzos técnicos y operativos destinados a mejorar la calidad de los datos. Esto contribuirá significativamente al suministro de información valiosa para comprender y dar seguimiento a este contaminante en la zona de influencia, respaldando así la toma de decisiones informadas.



Fuente: Ideam (2022).

4.5. OZONO TROPOSFÉRICO - O_3

4.5.1. CONCENTRACIONES PROMEDIO ANUALES

34 estaciones tuvieron una representatividad temporal adecuada.

Las concentraciones anuales de este contaminante oscilaron entre 9 y 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, reportándose en su mayoría, niveles superiores a los 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Las estaciones de monitoreo que señalaron las máximas concentraciones (superiores a 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) se ubican en:

- Bogotá, D. C. (Usaquén)
- Bogotá, D. C. (Fontibón)

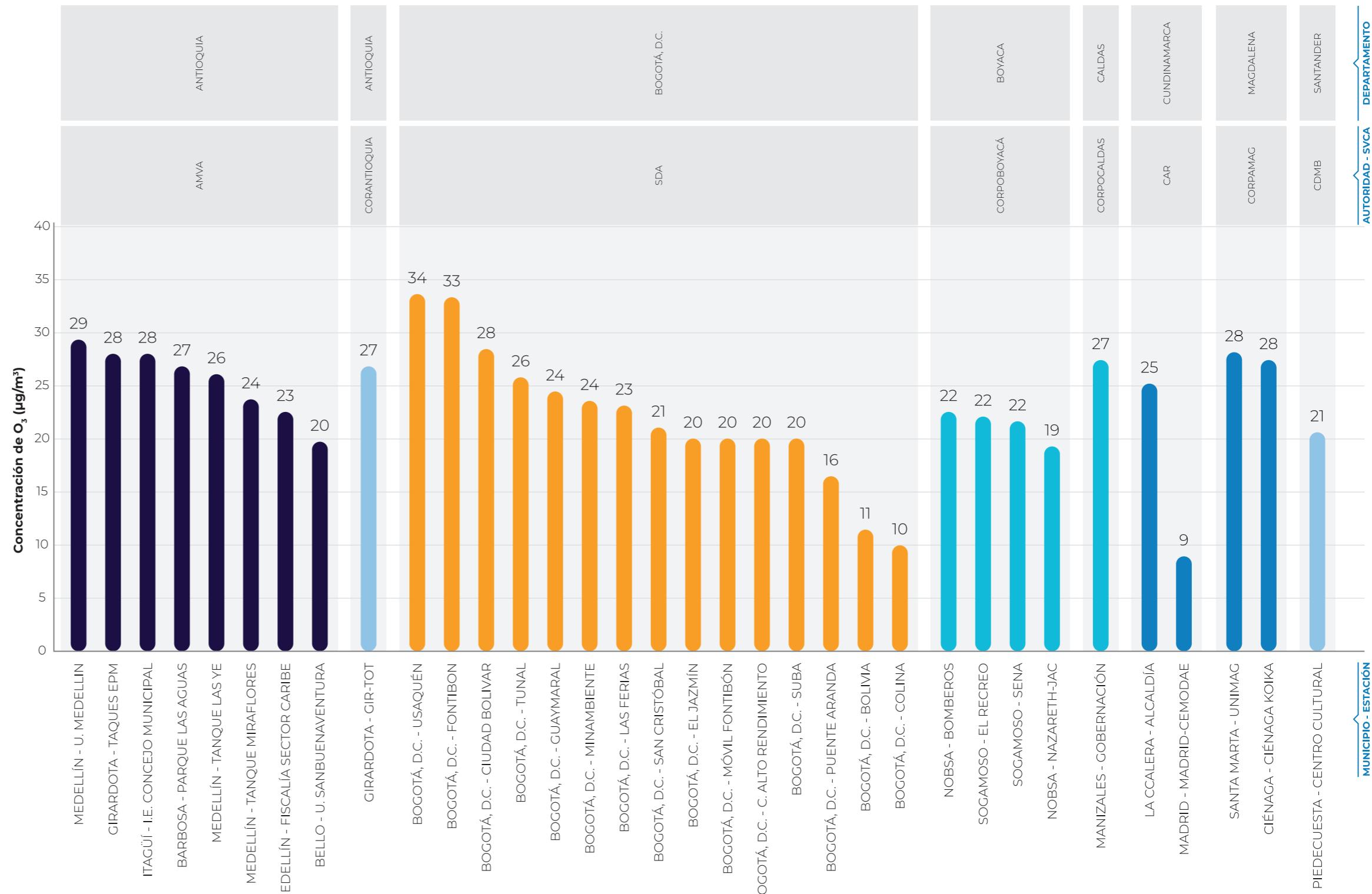
Entre tanto, las concentraciones más bajas (inferiores a los 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) se registraron en 3 estaciones:

- Madrid (Cemodae)
- Bogotá, D. C. (Colina)
- Bogotá, D. C. (Bolivia)

Estas concentraciones anuales se presentan de manera indicativa, debido a que la normativa vigente (resolución 2254 de 2017) para O_3 no establece un límite máximo permitido para un periodo de exposición prolongado (anual); por esta razón, no se lleva a cabo la comparación normativa correspondiente.



Figura 41. Concentraciones anuales de ozono - estaciones representativas, año 2022



Fuente: Ideam (2022).

4.5.2. EXCEDENCIAS AL NIVEL MÁXIMO PERMISIBLE OCTOHORARIO

15 estaciones registraron excedencias al nivel máximo permisible octohorario ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$), lo que corresponde al 44,1 % del total de las estaciones.

Las estaciones que reportaron más días excediendo la norma octohoraria corresponden a:

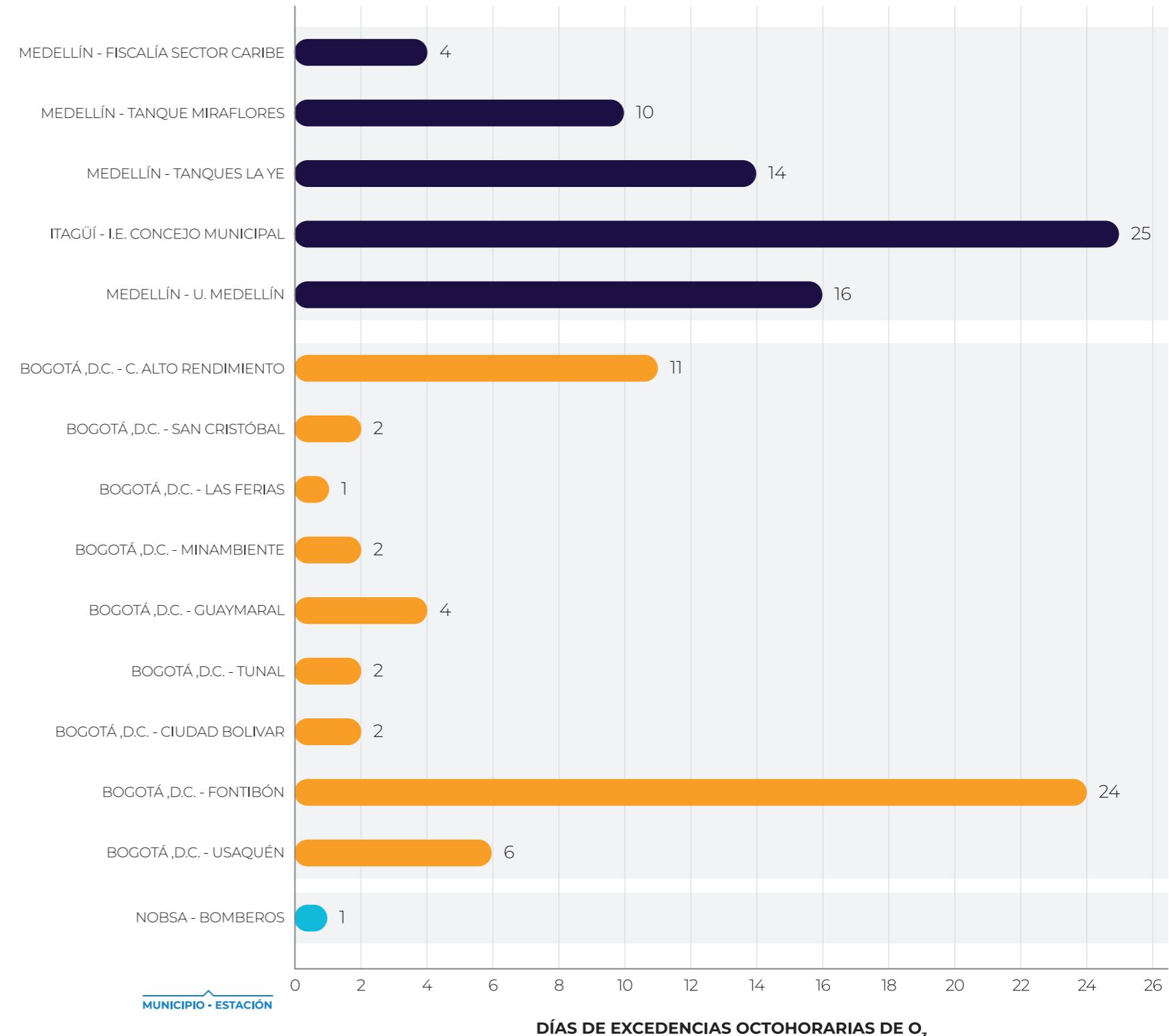
- I. E. Concejo municipal (Itagüí) con 25 días
- Fontibón (Bogotá, D. C.) con 24 días

En segundo lugar, las estaciones que reportaron el mayor número de días excediendo la norma octohoraria corresponden a:

- U. Medellín (Medellín) con 16 días
- Tanques la Ye (Medellín) con 14 días
- C. Alto rendimiento (Bogotá, D.C.) con 11 días

Las restantes 10 estaciones reportaron entre 1 y 10 días excediendo la norma octohoraria.

Aumentaron en un 6,6 % las estaciones que registraron excedencias al nivel máximo permisible octohorario, con respecto al año 2021.



Fuente: Ideam (2022).

4.5.3. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE

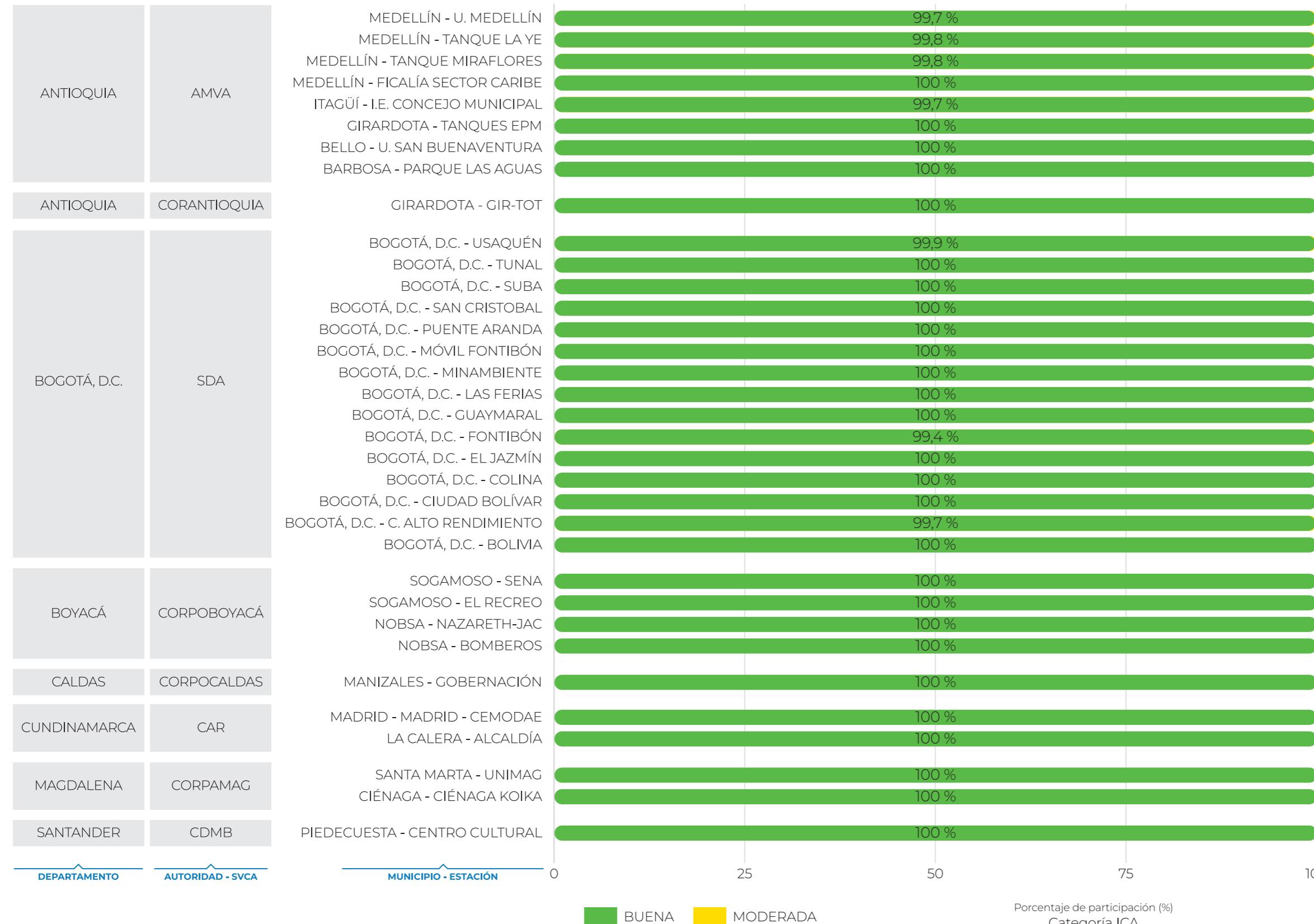


Figura 43. Proporción de datos del índice de calidad del aire para ozono – estaciones representativas, año 2022

34

estaciones reportaron, en proporciones mayoritarias (en más del 50 % del tiempo de monitoreo), un estado de la calidad del aire bueno.

7

estaciones reportaron la categoría aceptable, con porcentajes que varían entre 0,1 y 0,6 % del total del tiempo de monitoreo.

En el año 2022 ninguna estación reportó las categorías:

- Dañina para la salud de grupos poblacionales sensibles
- Dañina para la salud

4.5.4. CONCENTRACIONES PROMEDIO ANUALES - INDICATIVAS

31 estaciones no cumplieron con el porcentaje de representatividad temporal mínimo (75 %).

Aumentaron en un 19 % las estaciones que no cumplieron con el criterio de calidad, en relación con el año 2021.

Se debe prestar especial atención a las estaciones Montería (Terminal), Montería (Estación Centro Verde), Montería (UPB), Montería (La Gloria) y Villavicencio (CATUMARE) que reflejaron las máximas concentraciones anuales (indicativas).

Resulta crucial que las autoridades ambientales dirijan esfuerzos técnicos y operativos destinados a mejorar la calidad de los datos. Esto contribuirá significativamente al suministro de información valiosa para comprender y dar seguimiento a este contaminante en la zona de influencia, respaldando así la toma de decisiones informadas.

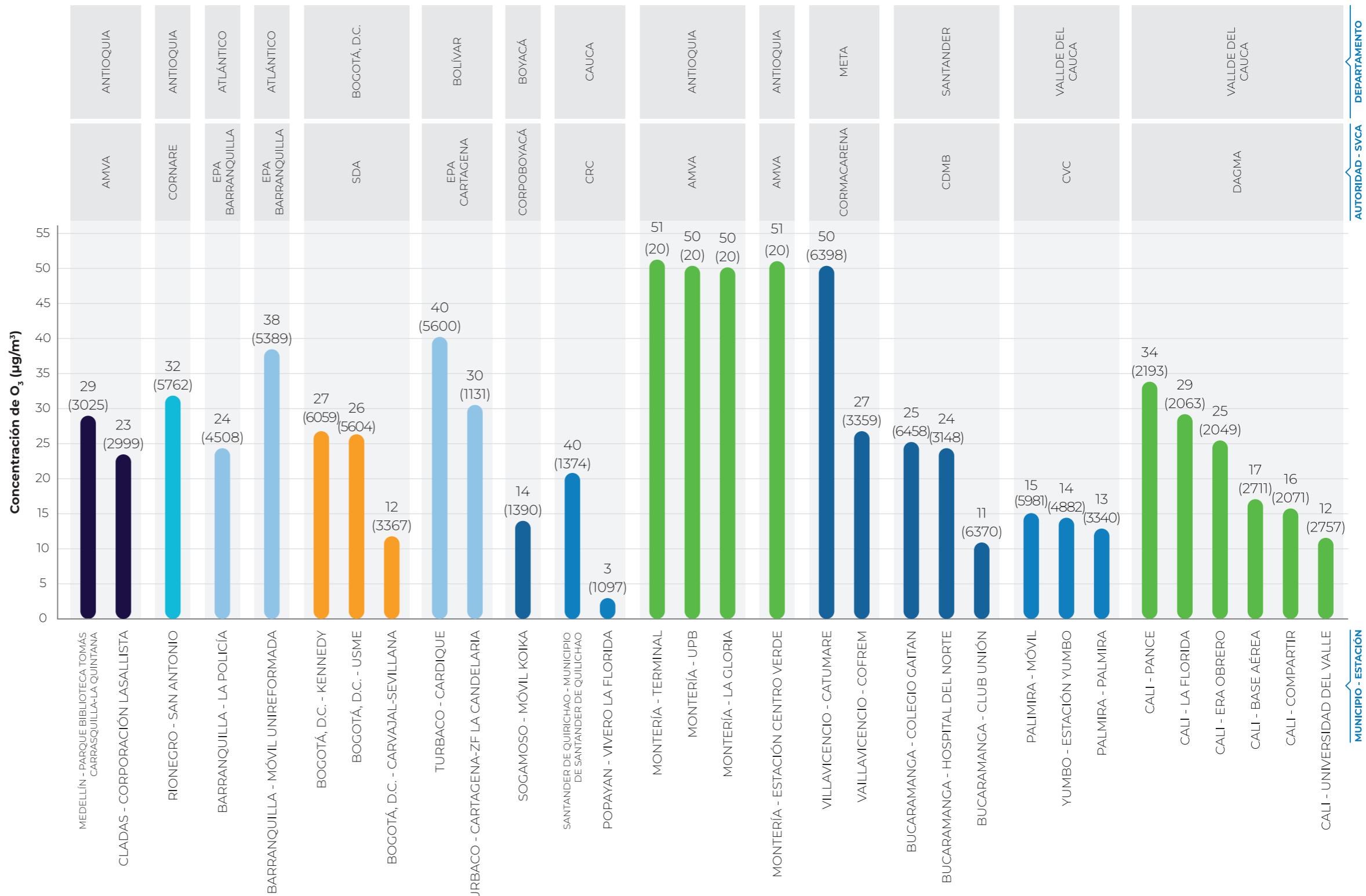


Figura 44. Concentraciones anuales de ozono - estaciones no representativas, año 2022

El número que se muestra por encima de cada barra representa el promedio anual del contaminante mientras que el ubicado entre paréntesis es el número de muestras válidas tomadas durante el año.

Fuente: Ideam (2022).

4.6. MONÓXIDO DE CARBONO - CO

4.6.1. CONCENTRACIONES PROMEDIO ANUALES

28 estaciones tuvieron una representatividad temporal adecuada.

Las concentraciones anuales de este contaminante oscilaron entre 269,8 y 1868,9 µg/m³.

En 2 estaciones de monitoreo se registraron concentraciones superiores a 1000 µg/m³, estas estaciones se ubican en:

- Medellín (Politécnico JIC)
- Bogotá, D. C. (Tunal)

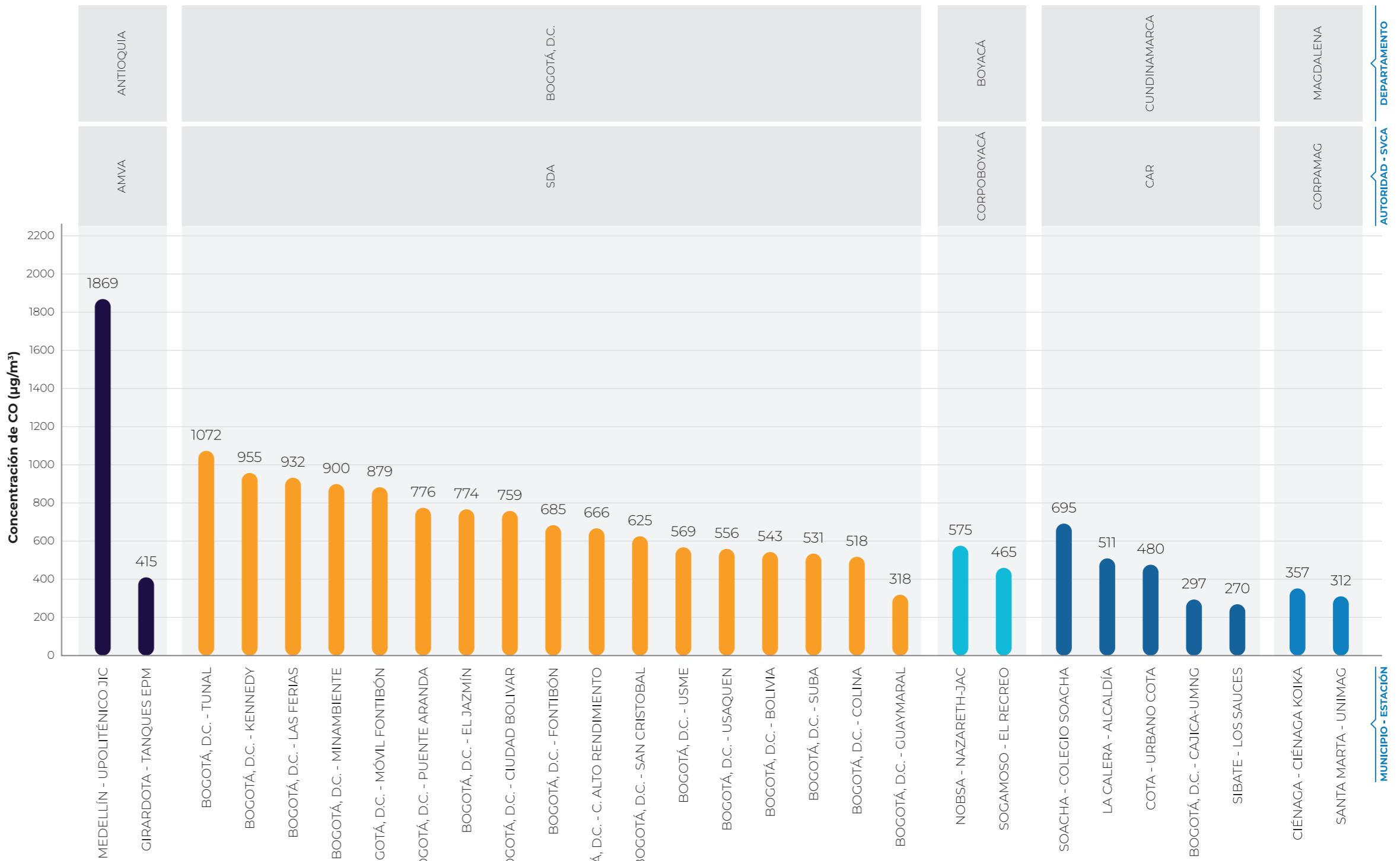
En 18 estaciones se registraron concentraciones medias comprendidas entre 500 y 1000 µg/m³.

En las 8 estaciones restantes se reportaron concentraciones anuales, consideradas bajas (inferiores a 500 µg/m³).

Estas concentraciones anuales se presentan de manera indicativa, debido a que la normativa vigente (resolución 2254 de 2017) para CO no establece un límite máximo permitido para un periodo de exposición prolongado (anual); por esta razón, no se lleva a cabo la comparación normativa correspondiente.



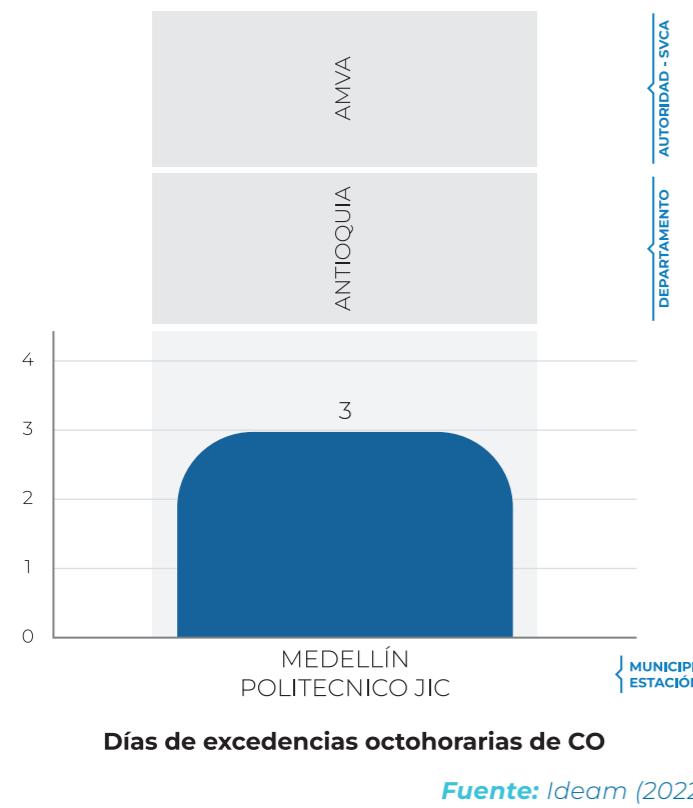
Figura 45. Concentraciones anuales de monóxido de carbono – estaciones representativas, año 2022



Fuente: Ideam (2022).

4.6.2. EXCEDENCIAS AL NIVEL MÁXIMO PERMISIBLE OCTOHORARIO

Figura 46. Días con excedencias al nivel máximo permisible octohorario de onóxido de carbono – estaciones representativas, año 2022



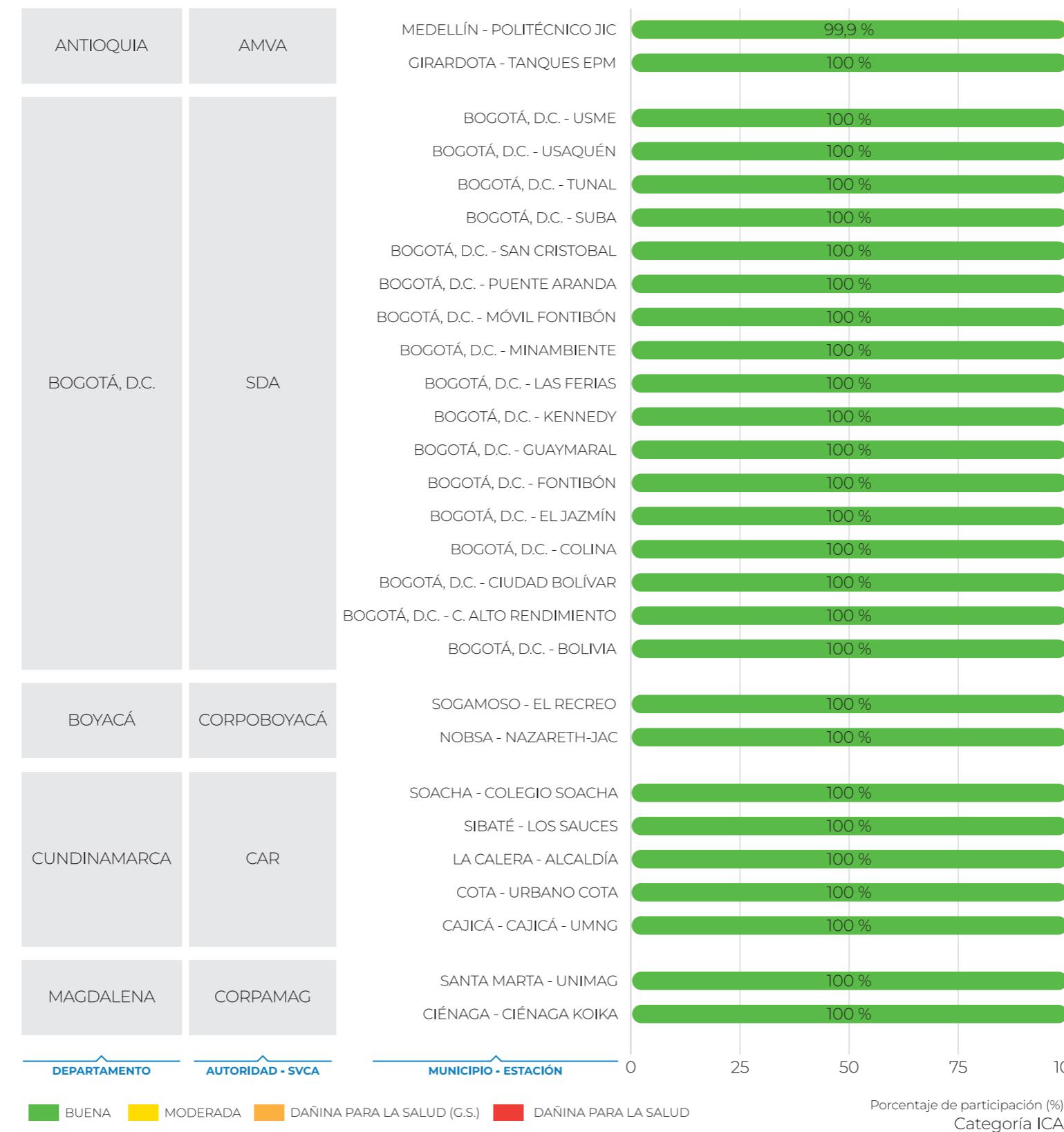
1 estación registró excedencias al nivel máximo permisible octohorario ($5000 \mu\text{g}/\text{m}^3$), lo que corresponde al 3,6 % del total de las estaciones.

La estación que reportó excedencias a la norma horaria corresponde a:
→ Politécnico JIC (Medellín) con 3 días

Disminuyeron en un 50 % las

estaciones que registraron excedencias al nivel máximo permisible diario, con respecto al año 2021.

4.6.3. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE



Fuente: Ideam (2022).



Figura 47. Proporción de datos del índice de calidad del aire para monóxido de carbono – estaciones representativas, año 2022

28 estaciones reportaron, en proporciones mayoritarias (en más del 50 % del tiempo de monitoreo), un estado de la calidad del aire bueno.

1 estación reportó la categoría aceptable, con 0,1 % del total del tiempo de monitoreo.

En el 2022 ninguna estación reportó las categorías:

- Dañina para la salud de grupos poblacionales sensibles
- Dañina para la salud

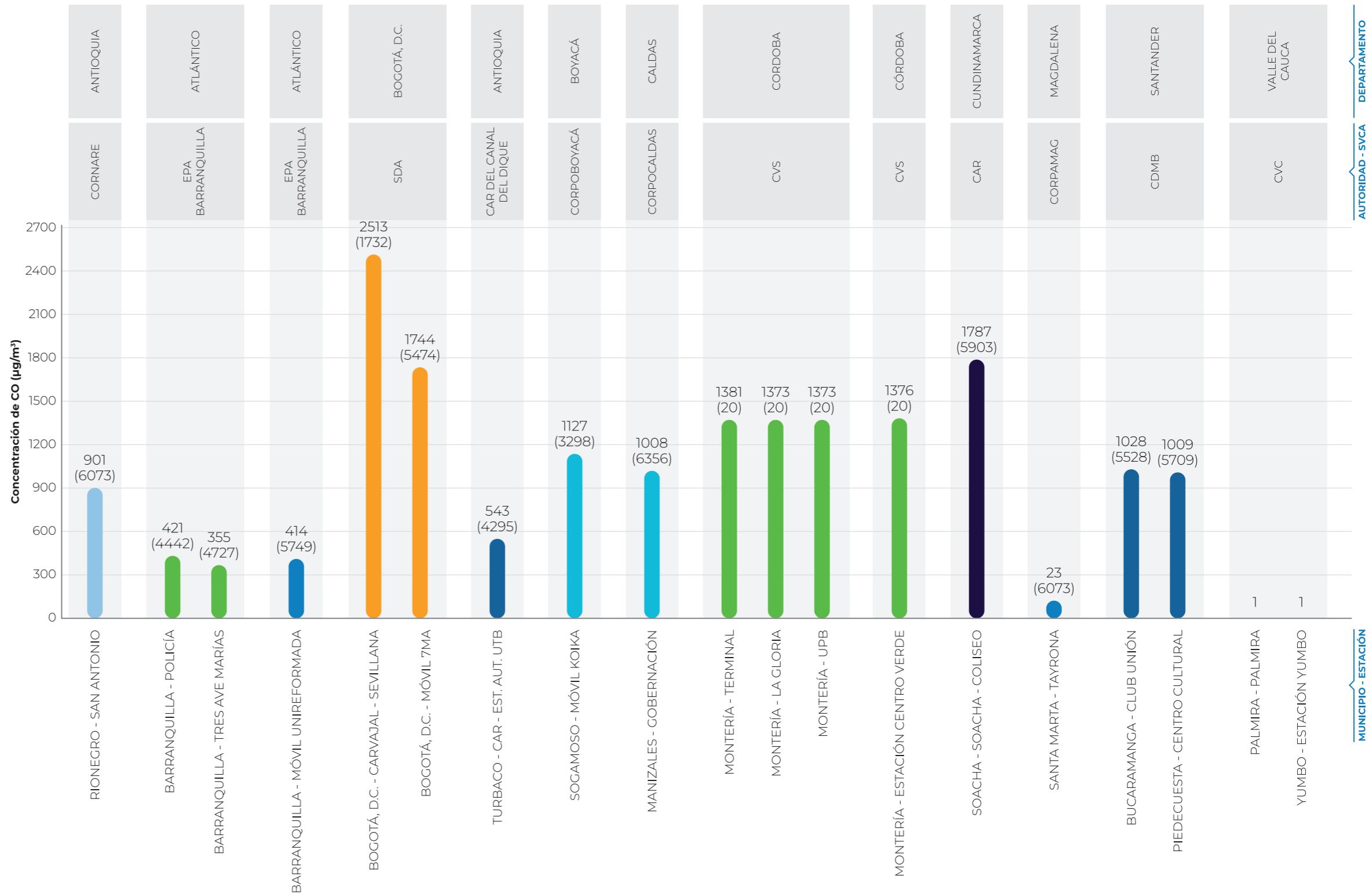
4.6.4. CONCENTRACIONES PROMEDIO ANUALES - INDICATIVAS

19 estaciones no cumplieron con el porcentaje de representatividad temporal mínimo (75 %).

Aumentaron en un 15,7 % las estaciones que no cumplieron con el criterio de calidad, en relación con el año 2021.

Se debe prestar especial atención a las estaciones Carvajal Sevillana (Bogotá, D. C.) y Coliseo (Soacha, Cundinamarca), dado que reflejaron las máximas concentraciones anuales (indicativas).

Resulta crucial que las autoridades ambientales dirijan esfuerzos técnicos y operativos destinados a mejorar la calidad de los datos. Esto contribuirá significativamente al suministro de información valiosa para comprender y dar seguimiento a este contaminante en la zona de influencia, respaldando así la toma de decisiones informadas.



El número que se muestra por encima de cada barra representa el promedio anual del contaminante mientras que el ubicado entre paréntesis es el número de muestras válidas tomadas durante el año.

Fuente: Ideam (2022).



Estado de la
calidad del aire
regional

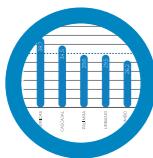
En el presente capítulo se presenta un análisis regional de los contaminantes criterio: partículas menores a 10 micras, partículas menores a 2,5 micras, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono y ozono evaluados por los SVCA que operaron en el año 2021 y cuyas series de datos temporales reportadas al Sisaire cumplieron con una representatividad (o porcentaje de datos válidos) igual o superior al 75 %.

Datos relevantes de los SVCA, estaciones de monitoreo, cobertura espacial y comportamiento de los contaminantes



- SVCA por departamento, número y tipo de estaciones de monitoreo
- Municipios con estaciones de monitoreo
- Mediante mapas se ilustra la ubicación de las respectivas estaciones
- Número de estaciones representativas que midieron cada contaminante
- Porcentajes de estaciones representativas cumpliendo la normativa vigente y respectiva proyección al año 2030

Concentraciones promedio anual y comparación normativa



- Para cada contaminante evaluado se presentan gráficamente las concentraciones promedio anuales obtenidas a partir de las estaciones de monitoreo representativas, para el caso de los contaminantes que tienen comparación normativa anual se ilustra el límite permisible vigente (línea azul discontinua) y la proyección normativa a 2030 (línea roja discontinua)

Índice de la Calidad del Aire



- Mediante mapas se ilustra el ICA para las estaciones que refirieron representatividad temporal adecuada y se muestra la proporción de datos en las que se registran las diferentes categorías del estado de la calidad del aire estandarizadas en la resolución 2254 de 2017, que permiten asociar la concentración de un contaminante con un potencial efecto para la salud humana (ver numeral 1.6.1).

Nota:

Es importante resaltar que para el cálculo del ICA departamental se computó el promedio del porcentaje de datos en cada categoría del ICA por estación para cada contaminante criterio, teniendo en cuenta las estaciones que cumplieron con la representatividad temporal.

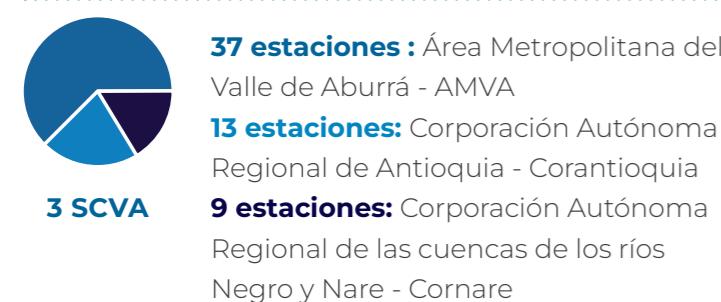
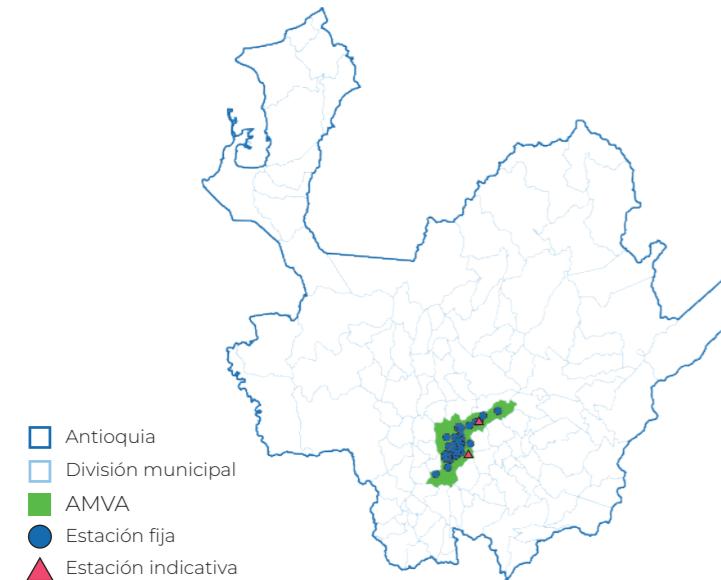


Infografía 13. Departamentos evaluados de conformidad con la jurisdicción territorial de las autoridades ambientales



Fuente: Ideam (2022).

Infografía 14. Estado de la calidad del aire regional - Departamento de Antioquia



16 % estaciones tuvieron representatividad temporal.

94 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual vigente.

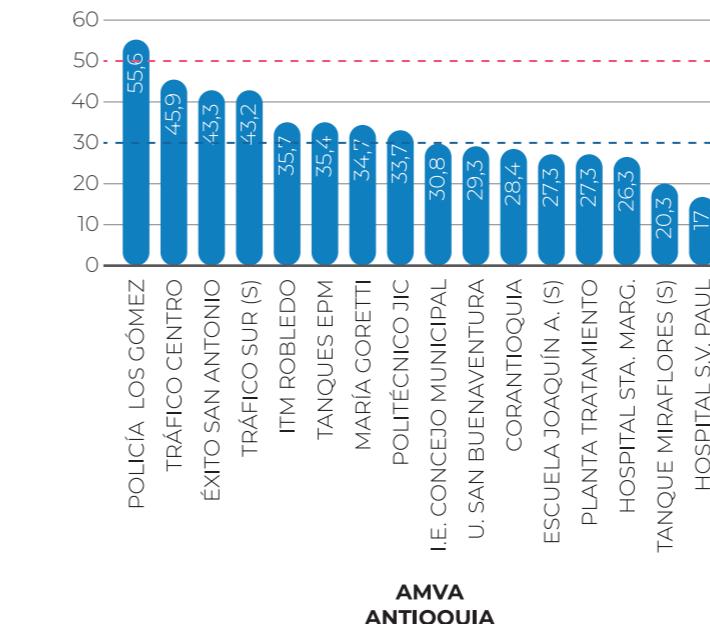
4,5 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual proyectado a 2030.


El 93 % de los datos del índice de calidad del aire para PM₁₀, señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.

El 7 % de los datos señaló un estado de la calidad del aire **aceptable**.

PM₁₀ material particulado menor a 10 micras

Concentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



AMVA
ANTIOQUIA

29 % estaciones tuvieron representatividad temporal.

de las estaciones cumplieron con el nivel

90 % máximo permisible anual vigente.

de las estaciones cumplieron con el nivel

38 % máximo permisible anual proyectado a 2030.


El 72,04 % de los datos del índice de calidad del aire para PM_{2,5}, señaló un estado de la calidad del aire **aceptable**.

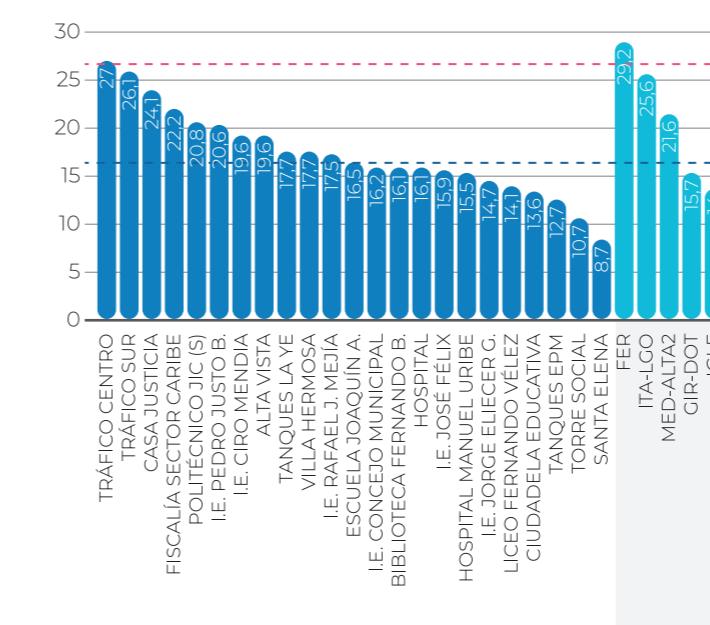
El 25,97 % de los datos, señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.

El 1,94 % de los datos señaló un estado de la calidad del aire **dañino para la salud de los grupos sensibles**.

El 0,03 % de los datos señaló un estado de la calidad del aire **dañino para la salud**.

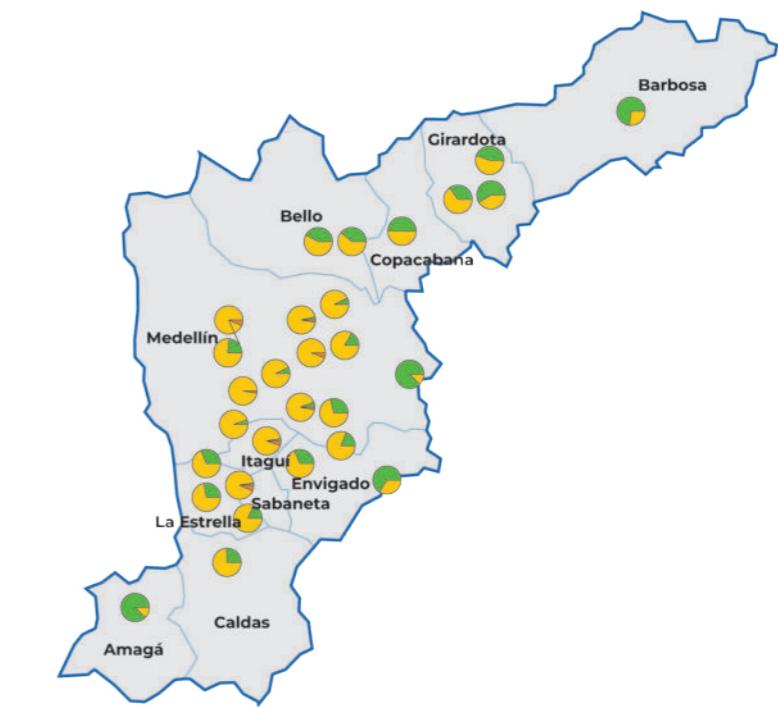
PM_{2,5} material particulado menor a 2,5 micras

Concentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

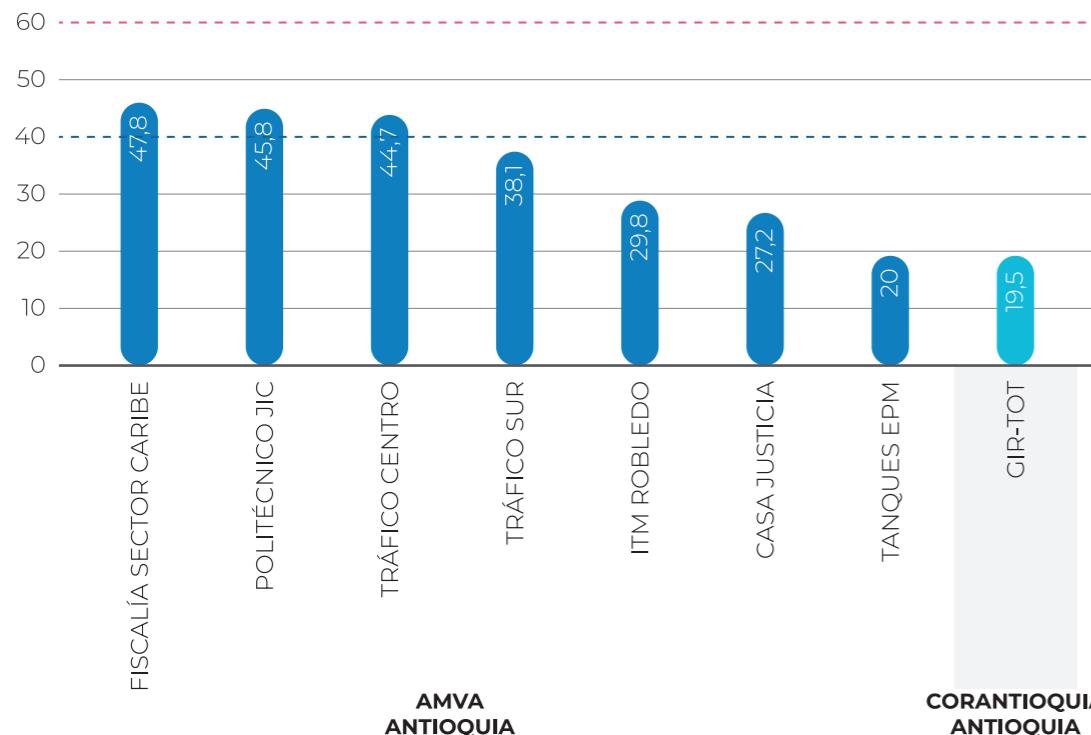
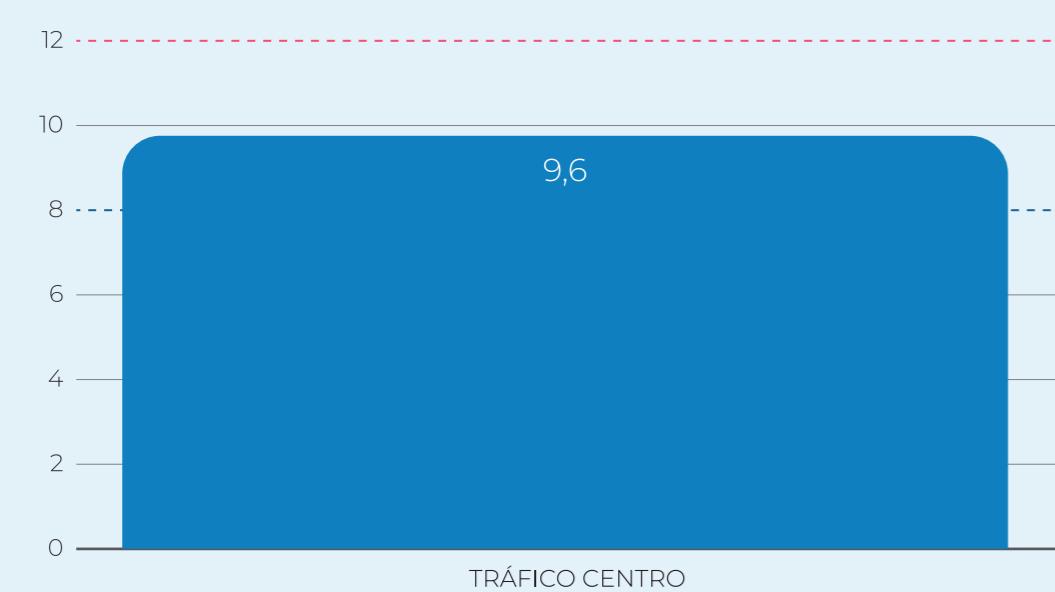


AMVA
ANTIOQUIA

CORANTIOQUIA
ANTIOQUIA




ICA Clasificación
 Buena (Green)
 Aceptable (Yellow)
 Dañina para la salud de grupos sensibles (Orange)
 Dañina para la salud (Red)

NO₂ Dióxido de nitrógenoConcentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**SO₂ Dióxido de azufre**Concentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)AMVA
ANTIOQUIA

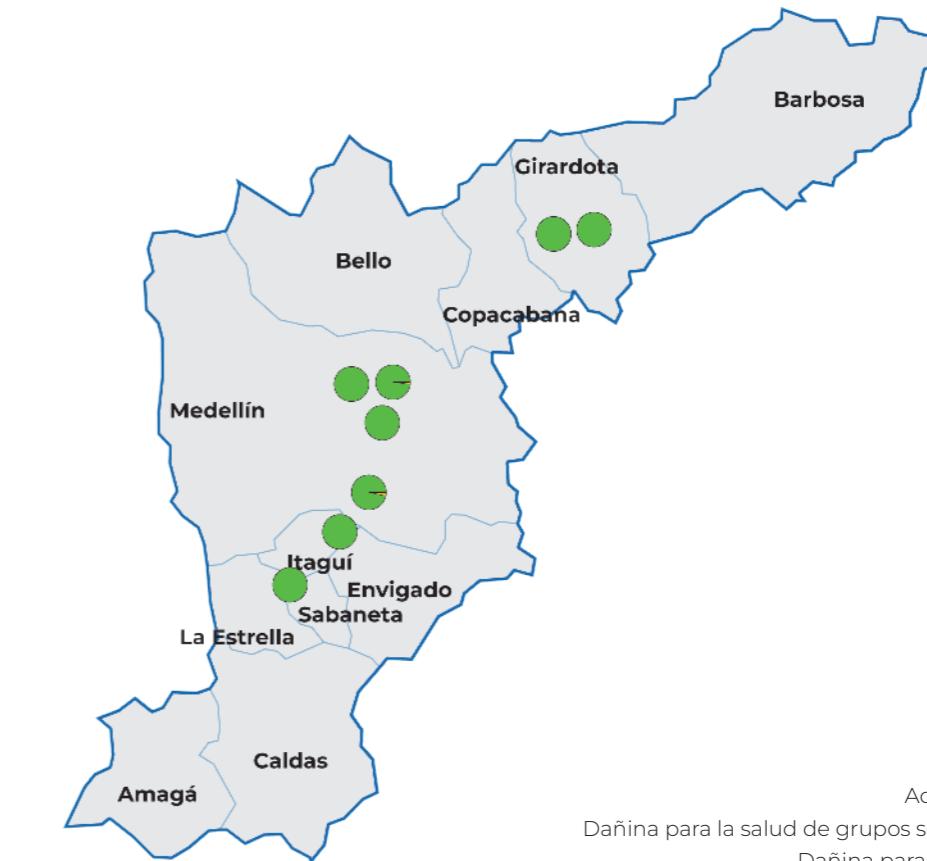
8 de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual vigente.

100 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual vigente.

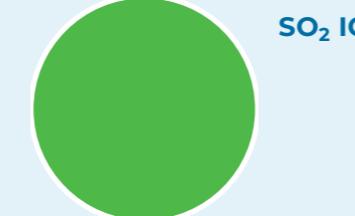
62 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual proyectado a 2030.



El **99 %** de los datos para NO₂, señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.

**1 estación** tuvo representatividad temporal.

Esta estación no registró excedencias al nivel máximo permisible diario -el SO₂ no considera nivel máximo permisible anual-.

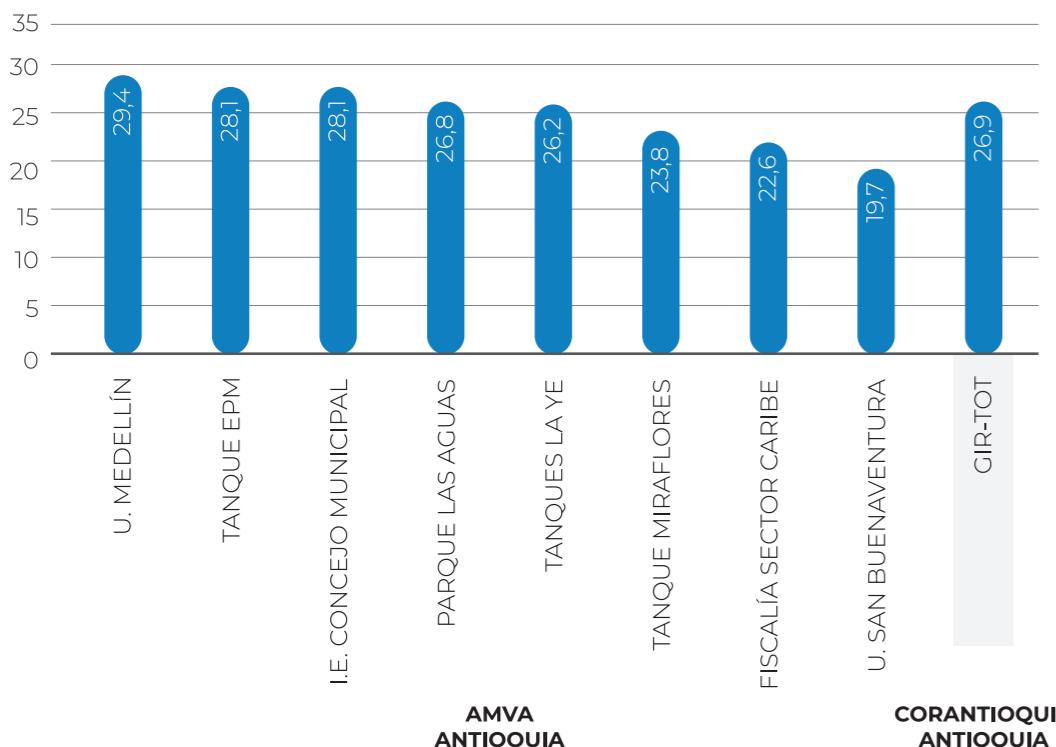


El **100 %** de los datos señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.



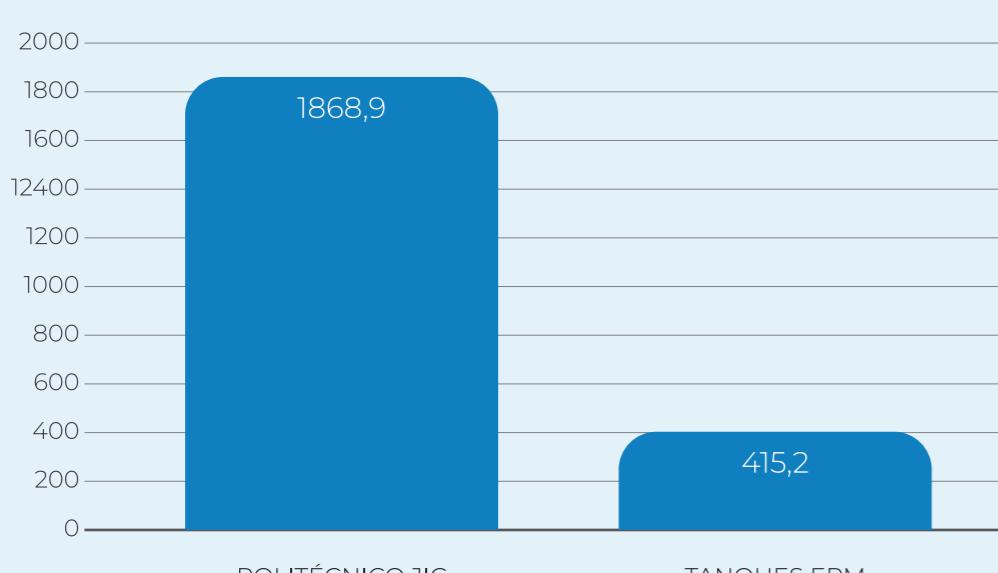
O₃ Ozono troposférico

Concentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



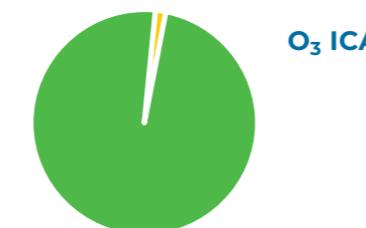
CO Monóxido de carbono

Concentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

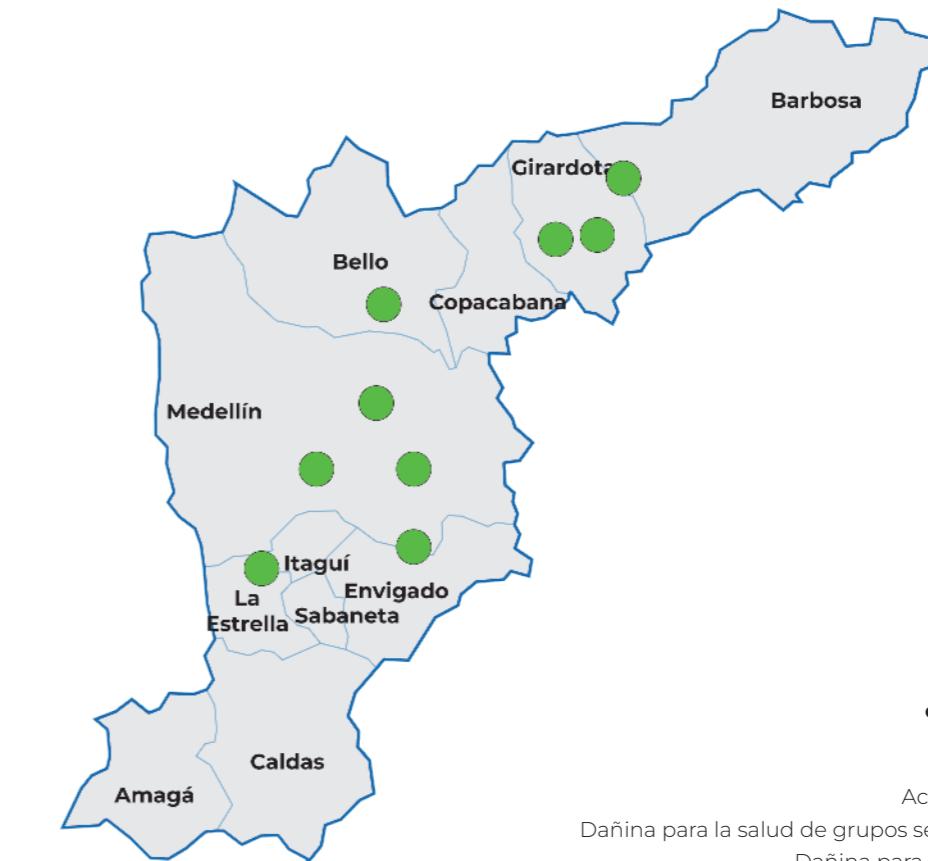


9 estaciones con representatividad temporal.

5 estaciones reportaron excedencias al nivel máximo permisible octohorario - el O₃ no considera nivel máximo permisible anual-



El 99 % de los datos para O₃, señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.

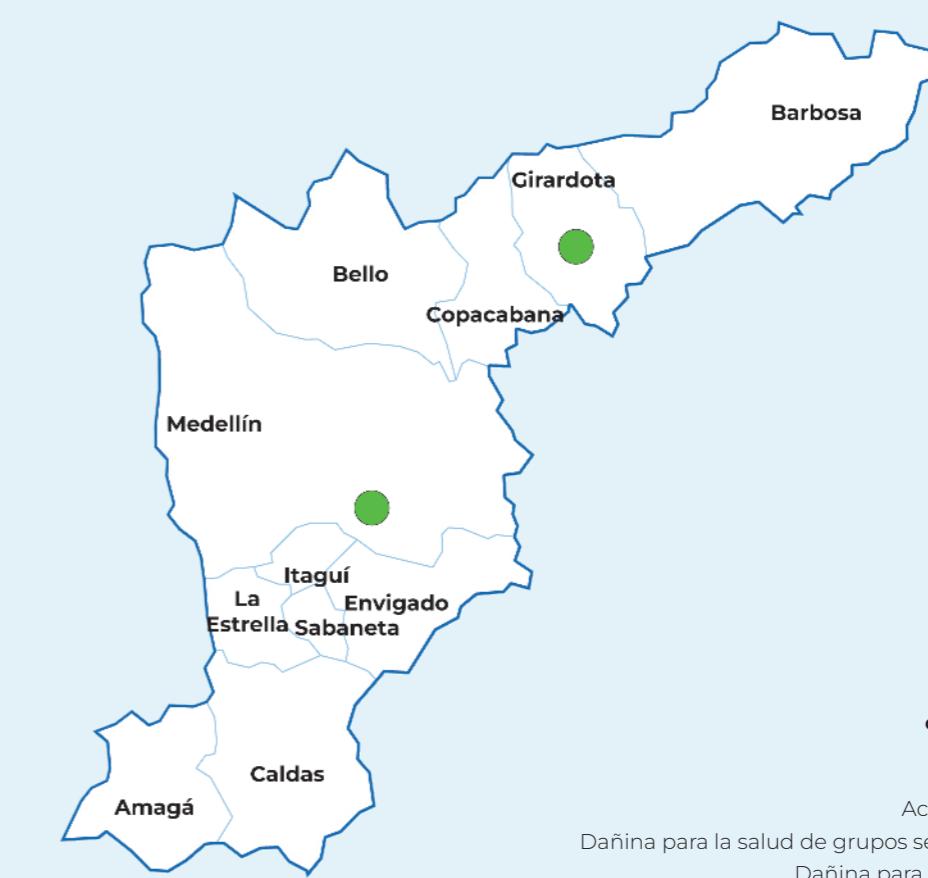


2 estaciones tuvieron representatividad temporal.

1 estación reportó excedencias al nivel máximo permisible octohorario -el CO no considera nivel máximo permisible anual-



El 99 % de los datos para CO un estado de la calidad del aire **bueno**.



 **Infografía 15.** Estado de la calidad del aire regional - Bogotá, D.C.



19 estaciones tuvieron representatividad temporal.

94 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual vigente.

44 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual proyectado a 2030.

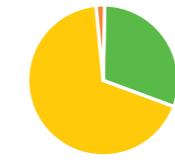
 **El 89 %** de los datos para PM₁₀, señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.

El 11 % de los datos, señaló un estado de la calidad del aire **aceptable**.

18 estaciones tuvieron representatividad temporal.

94 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual vigente.

22 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual proyectado a 2030.

 **El 68,88 %** de los datos para PM_{2.5}, señaló un estado de la calidad del aire **aceptable**.

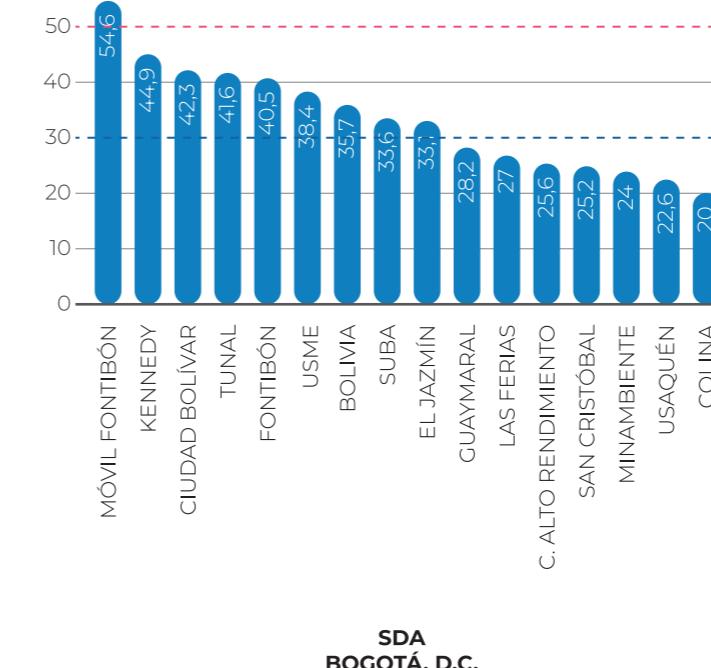
El 31,23 % de los datos, señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.

El 1,69 % los datos señaló un estado de la calidad del aire **dañino para la salud de los grupos sensibles**.

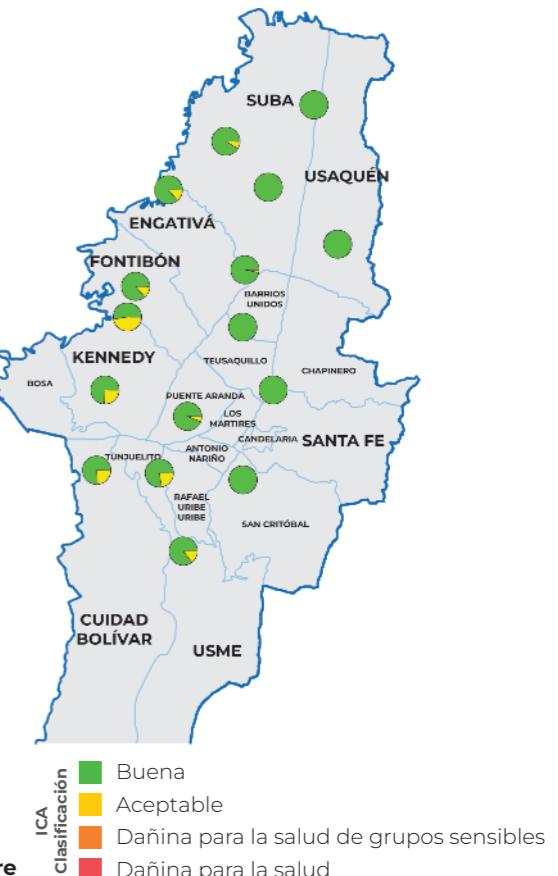
El 0,18 % los datos, señaló un estado de la calidad del aire **dañino para la salud**.

PM₁₀ material particulado menor a 10 micras

Concentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

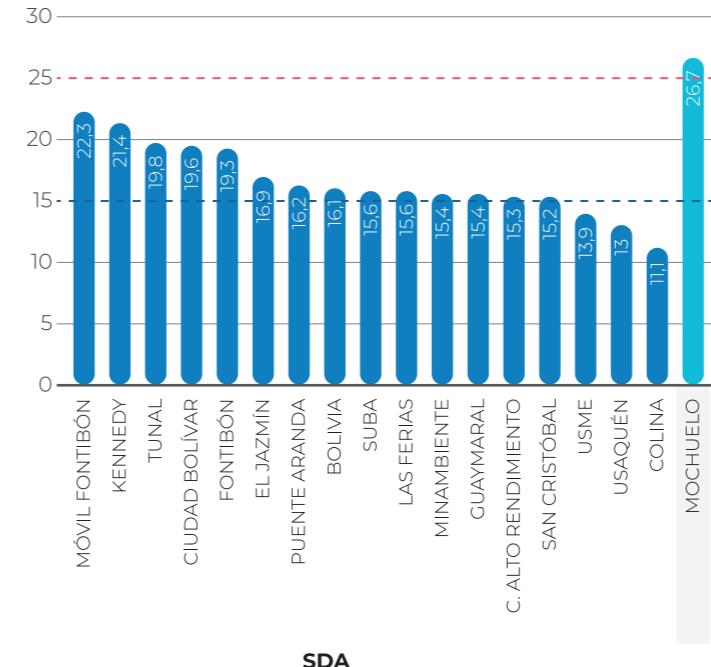


 Índice de la calidad del aire
ICA Clasificación

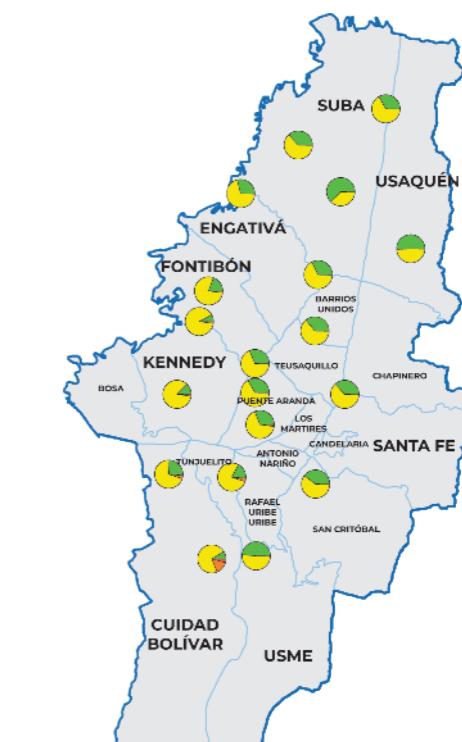


PM_{2.5} material particulado menor a 2,5 micras

Concentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

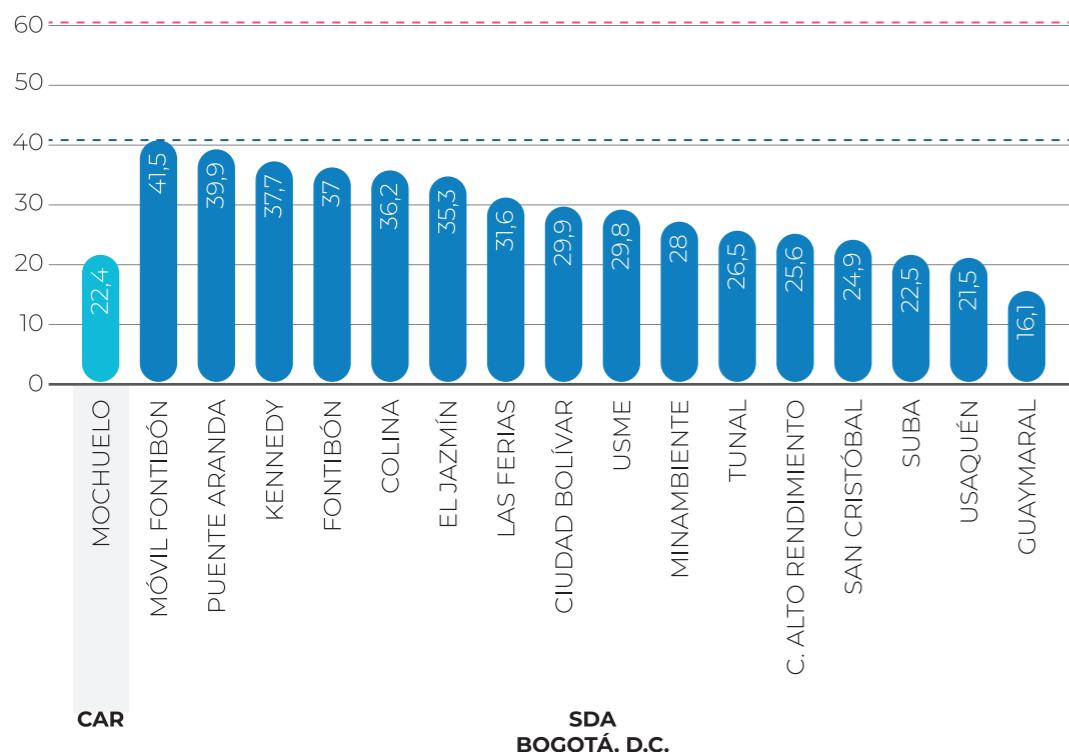


 Índice de la calidad del aire
ICA Clasificación



NO₂ Dióxido de nitrógeno

Concentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



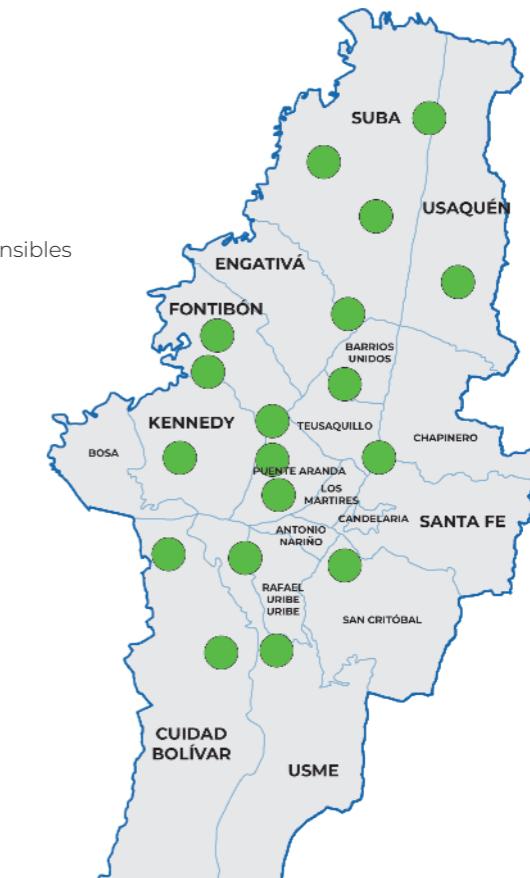
17 estaciones tuvieron representatividad temporal.

94 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual vigente.

94 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual proyectado a 2030.

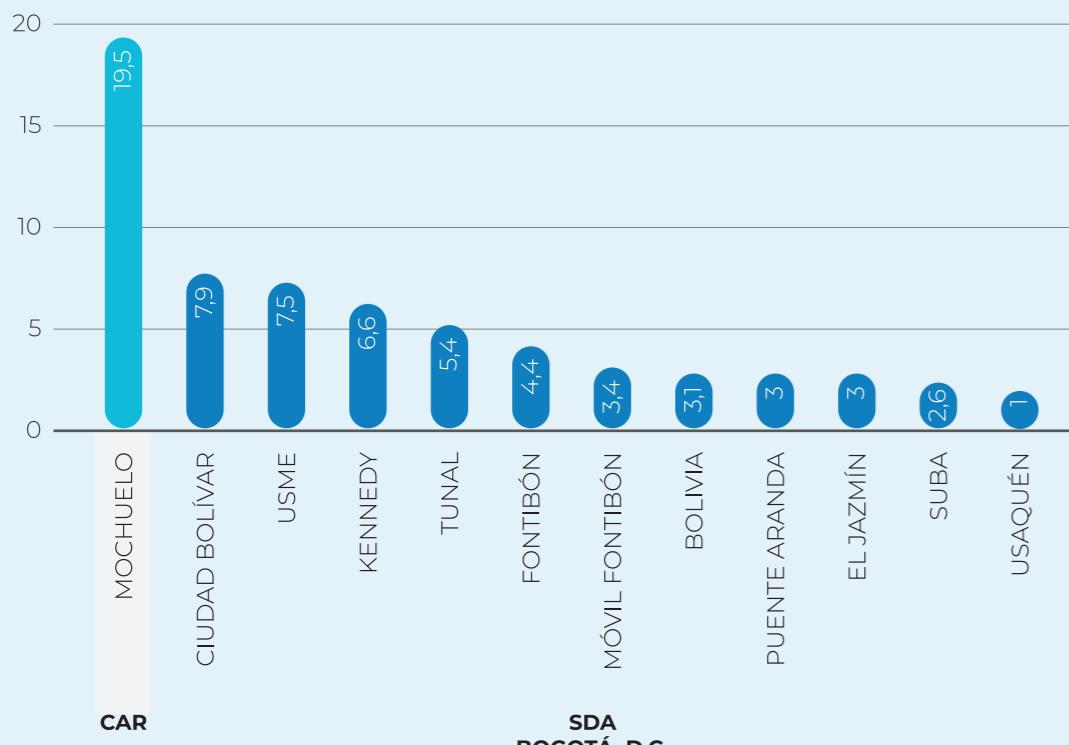
NO₂ ICA

El 99 % de los datos para NO₂, señaló un estado de la calidad del aire bueno.



SO₂ Dióxido de azufre

Concentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

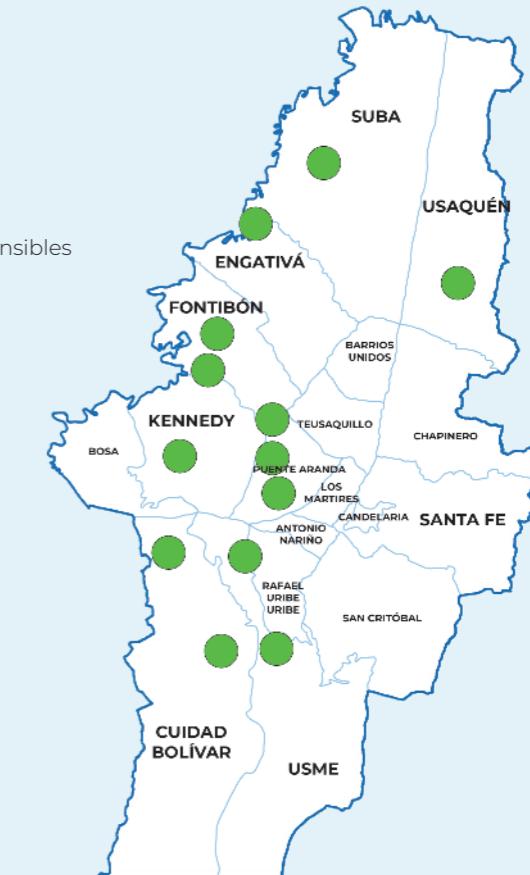


12 estaciones tuvieron representatividad temporal.

2 estaciones estaciones registraron excedencias al nivel máximo permisible diario -el SO₂ no considera nivel máximo permisible anual-.

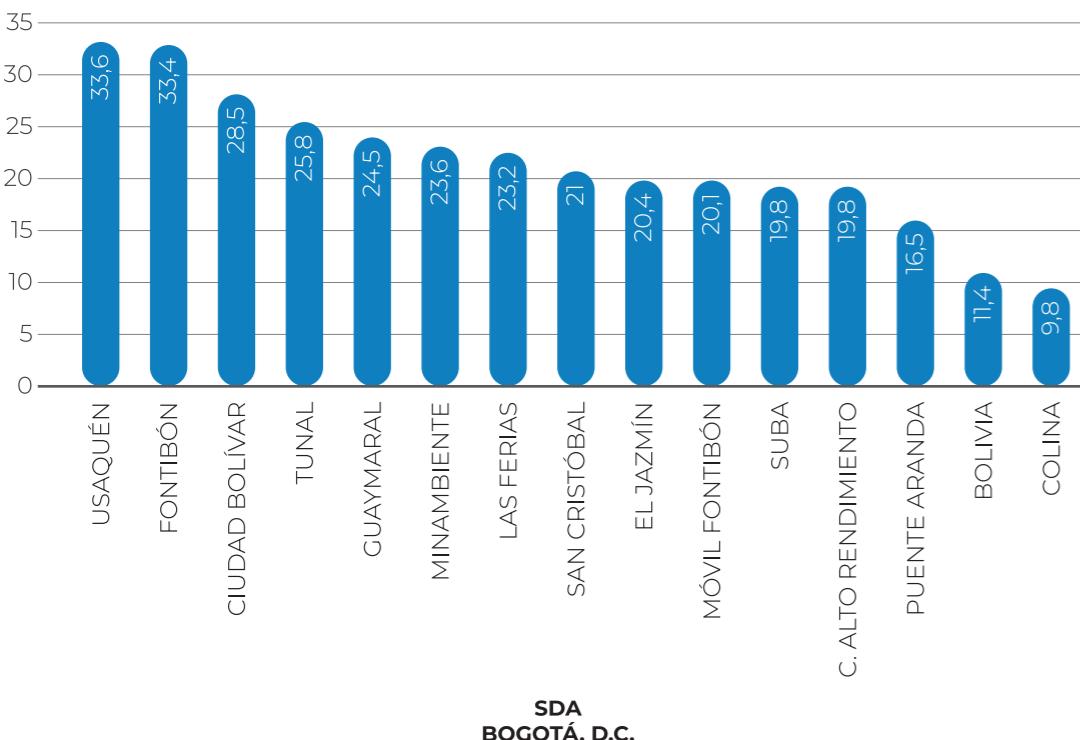
SO₂ ICA

El 99 % de los datos para SO₂, señaló un estado de la calidad del aire bueno.



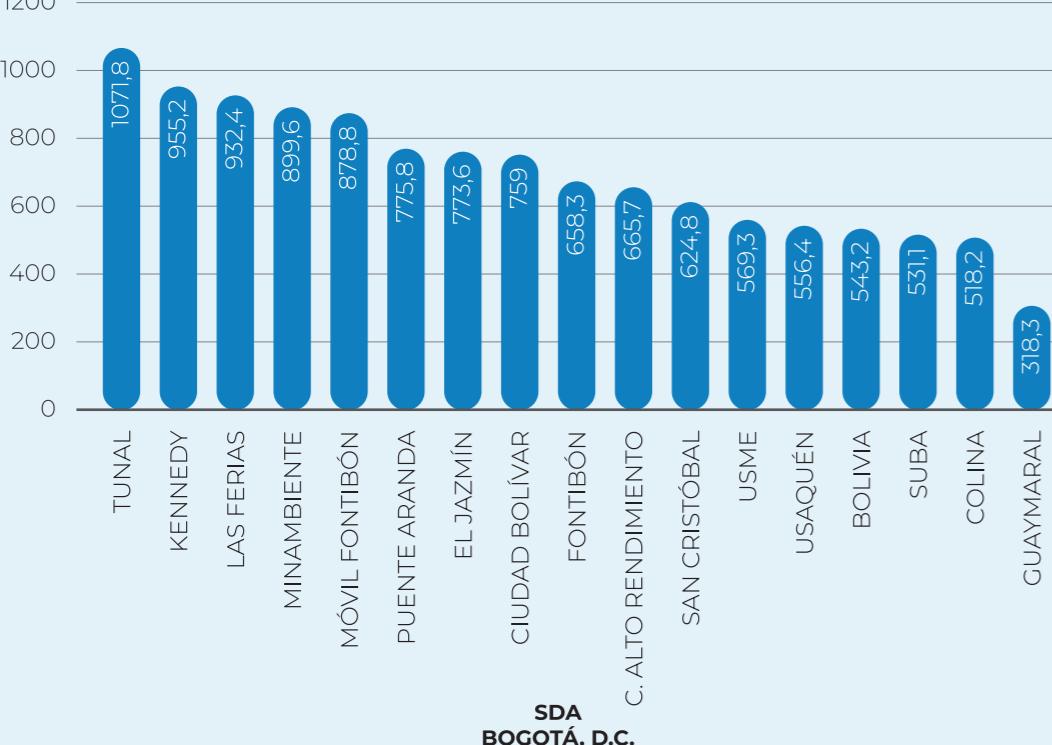
O₃ Ozono troposférico

Concentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



CO Monóxido de carbono

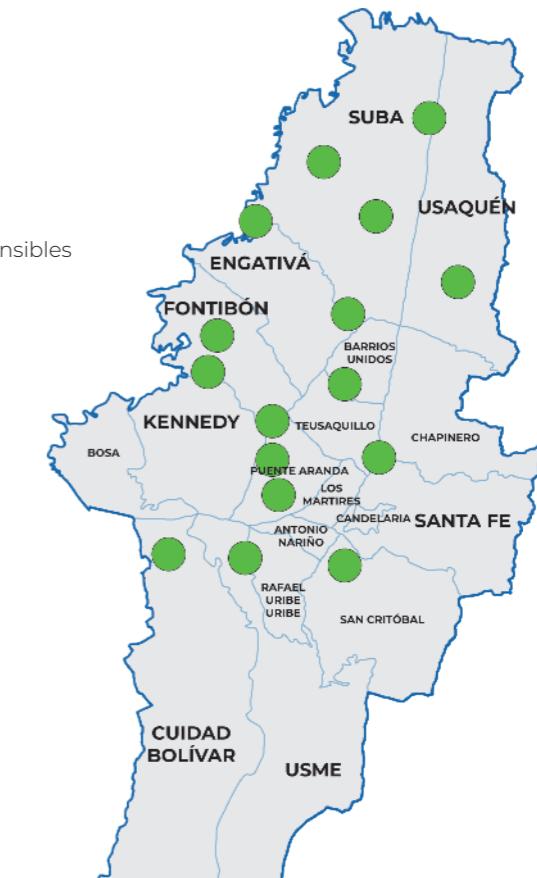
Concentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Índice de la calidad del aire

ICA Clasificación

- Buena (verde)
- Aceptable (amarillo)
- Dañina para la salud de grupos sensibles (naranja)
- Dañina para la salud (rojo)



15 estaciones con representatividad temporal.

9 estaciones reportaron excedencias al nivel máximo permisible octohorario - el O₃ no considera nivel máximo permisible anual-

O₃ ICA

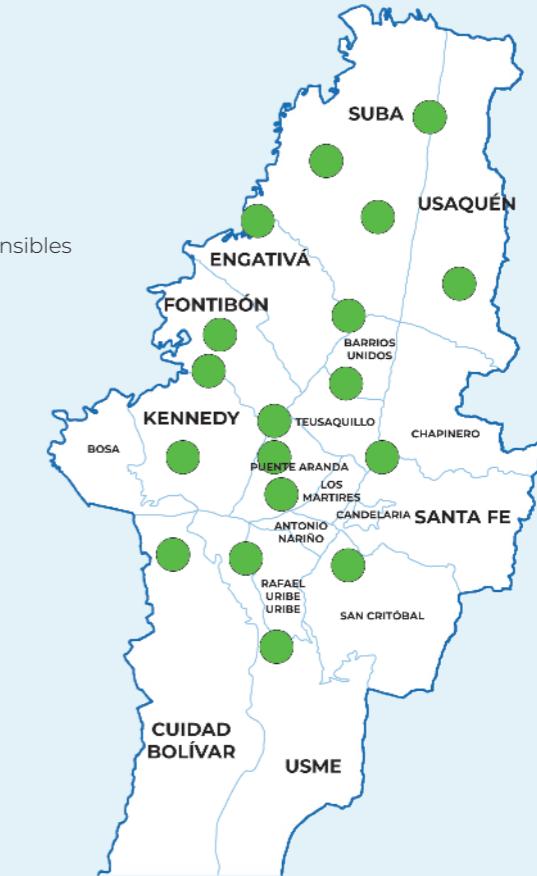
El **99 %** de los datos para O₃ señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.



Índice de la calidad del aire

ICA Clasificación

- Buena (verde)
- Aceptable (amarillo)
- Dañina para la salud de grupos sensibles (naranja)
- Dañina para la salud (rojo)



17 estaciones tuvieron representatividad temporal.

Ninguna estación reportó excedencias al nivel máximo permisible octohorario -el CO no considera nivel máximo permisible anual-

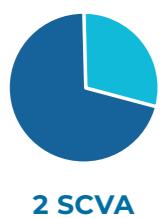
CO ICA

El **100 %** de los datos para CO señalaron un estado de la calidad del aire **bueno**.

Infografía 16. Estado de la calidad del aire regional - Departamento de Bolívar



Bolívar
División municipal
Estación fija



2 estaciones:
Establecimiento Público Ambiental -EPA- Cartagena.



7 Estaciones fijas
0 Estaciones indicativas

5 estaciones: Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique:



4 Municipios:
ARJONA
CARTAGENA DE INDIAS
TURBACO
TURBANA

1 estación tuvo representatividad temporal.

100 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual vigente.

100 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual proyectado a 2030.



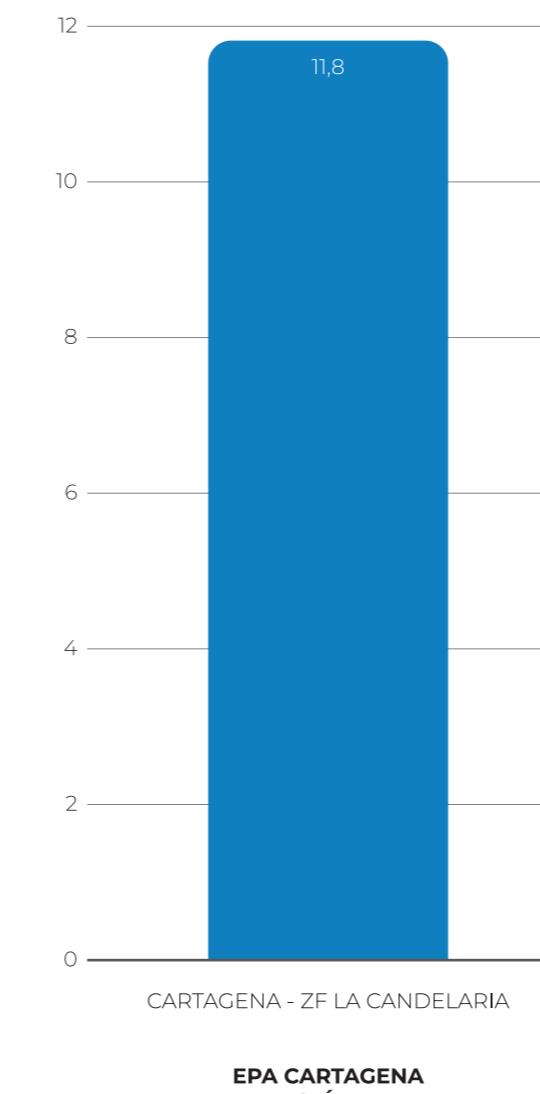
El 62,2 % de los datos para PM_{2.5}, señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.

El 37,4 % de los datos para PM_{2.5}, señaló un estado de la calidad del aire **aceptable**.

El 0,4 % de los datos, señaló un estado de la calidad del aire **dañino para la salud de los grupos sensibles**.

PM_{2.5} material particulado menor a 2,5 micras

Concentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Índice de la calidad del aire

Buena

Aceptable

ICA

Dañina para la salud de grupos sensibles

Dañina para la salud

Clasificación

Fuente: Ideam (2022).

 **Infografía 17.** Estado de la calidad del aire regional - **Departamento de Boyacá**



- Boyacá
- División municipal
- Estación fija
- ▲ Estación indicativa



2 estaciones: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR-.
7 estaciones: Corporación Autónoma Regional de Boyacá -Corpoboyacá-.



8 Estaciones fijas
1 Estación indicativa



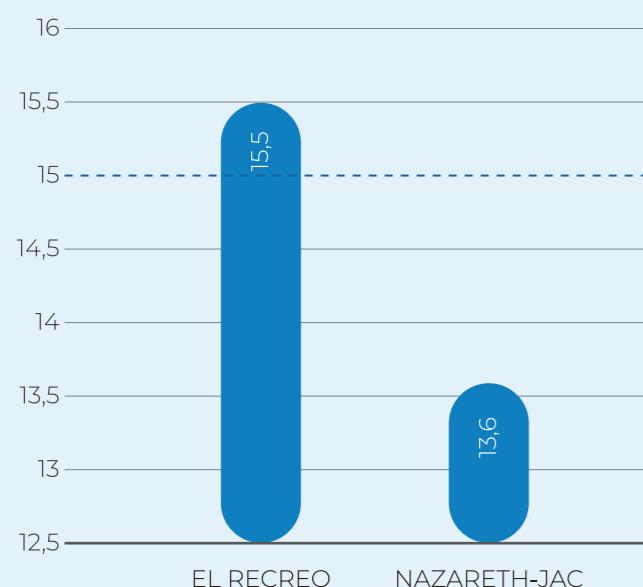
4 Municipios:
NOBSA
PAIPA
RÁQUIRA
SOGAMOSO



PM₁₀ ICA

PM_{2,5} Material particulado menor a 2,5 micras

Concentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

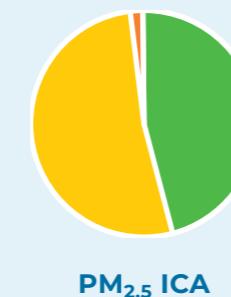


CORPOBOYACÁ BOYACÁ

2 estaciones con representatividad temporal.

100 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual vigente.

100 % de las estaciones cumplió con el nivel máximo permisible anual proyectado a 2030.



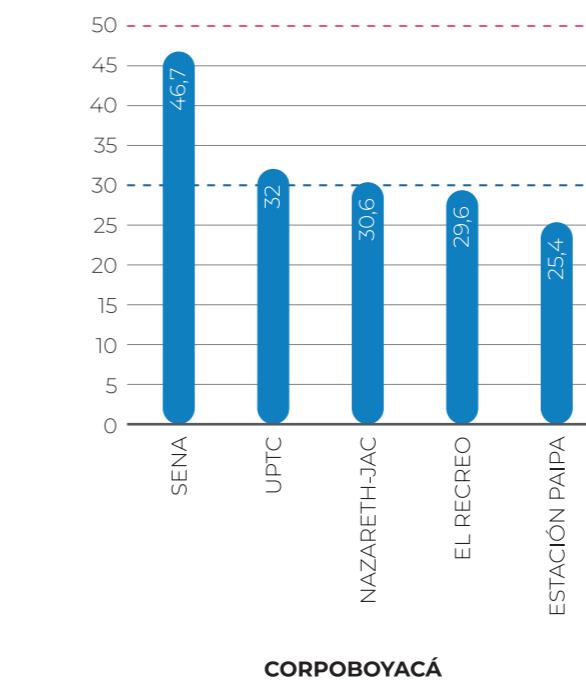
El 59,1 % de los datos para PM_{2,5}, señaló un estado de la calidad del aire **aceptable**.

El 40,5 % de los datos, señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.

El 0,4 % de los datos, señaló un estado de la calidad del aire **dañino para la salud de los grupos sensibles**.

PM₁₀ material particulado menor a 10 micras

Concentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



CORPOBOYACÁ BOYACÁ



Índice de la calidad del aire

- Buena
- Aceptable
- ICA
- Clasificación

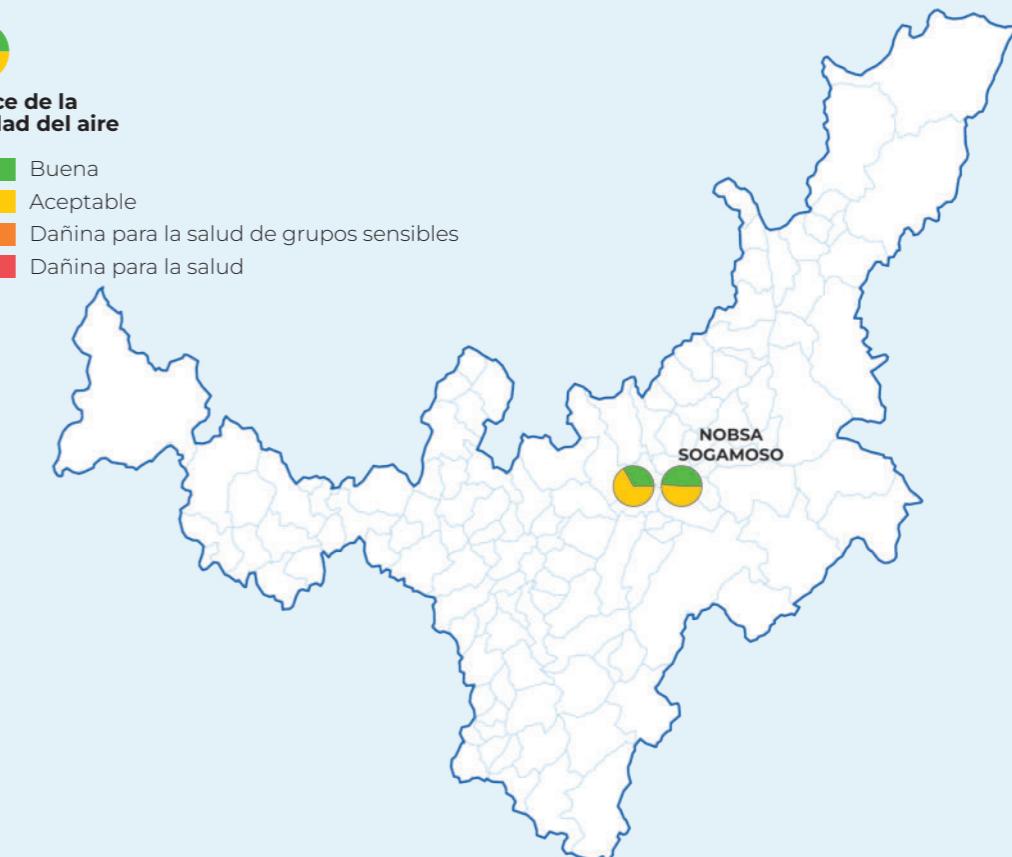
Dañina para la salud de grupos sensibles
Dañina para la salud

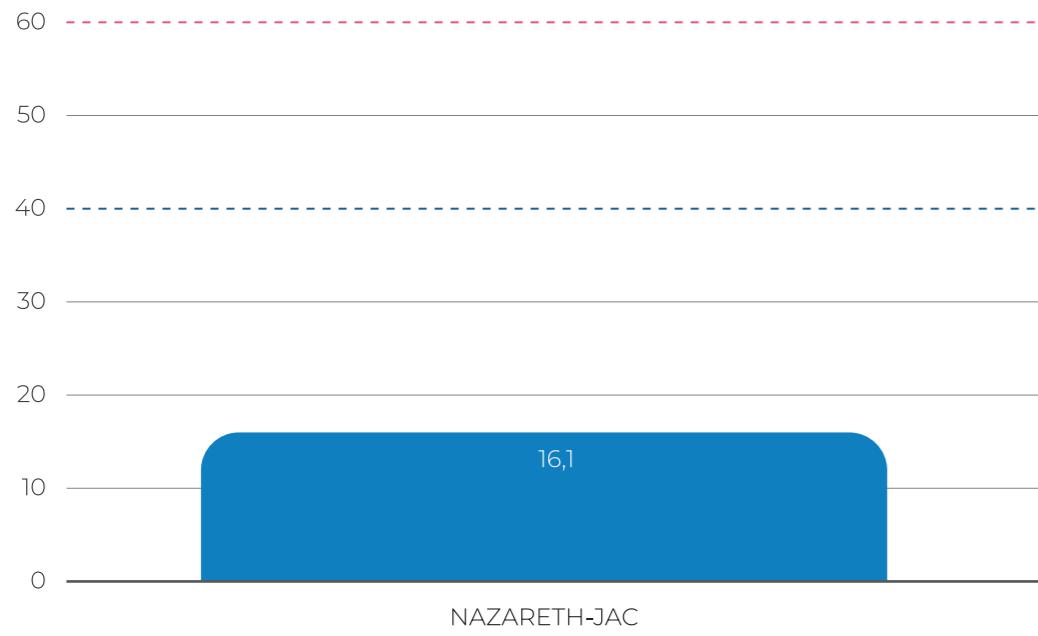


Índice de la calidad del aire

ICA
Clasificación

- Buena
- Aceptable
- Dañina para la salud de grupos sensibles
- Dañina para la salud

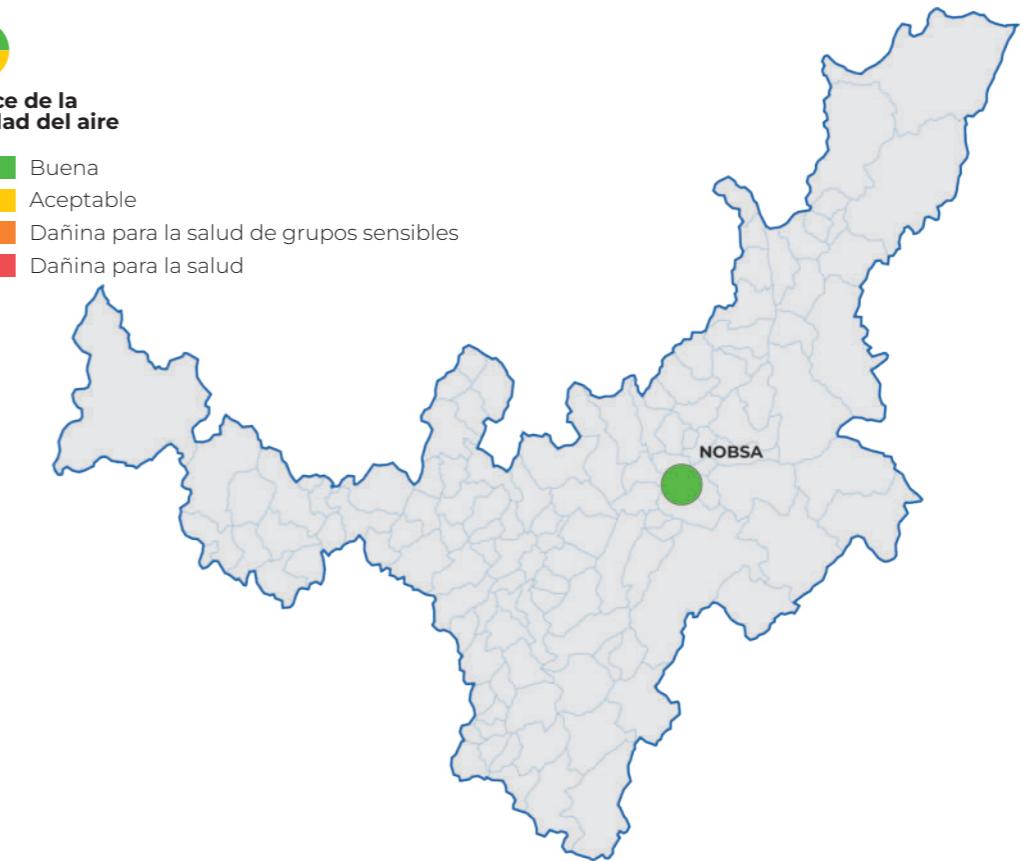
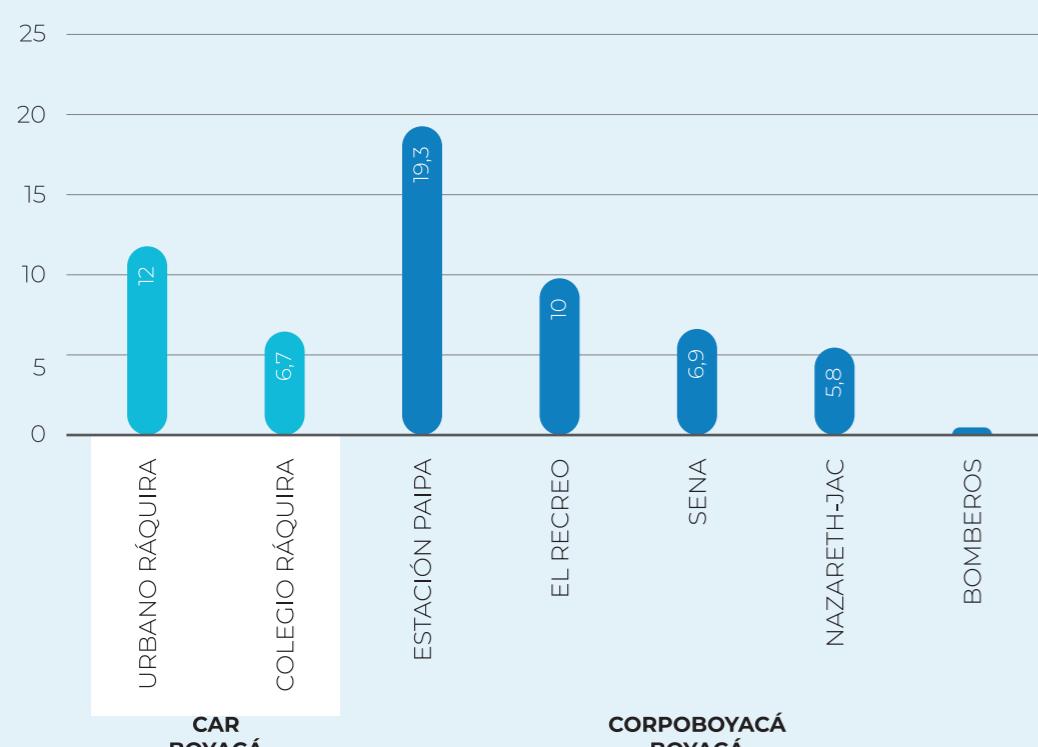


NO₂ Dióxido de nitrógenoConcentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**1 estación** tuvo representatividad temporal.

Esta estación no registró excedencias al nivel máximo permisible diario -el NO₂ no considera nivel máximo permisible anual-.

NO₂ ICA

- Buena (Green)
- Aceptable (Yellow)
- Dañina para la salud de grupos sensibles (Orange)
- Dañina para la salud (Red)

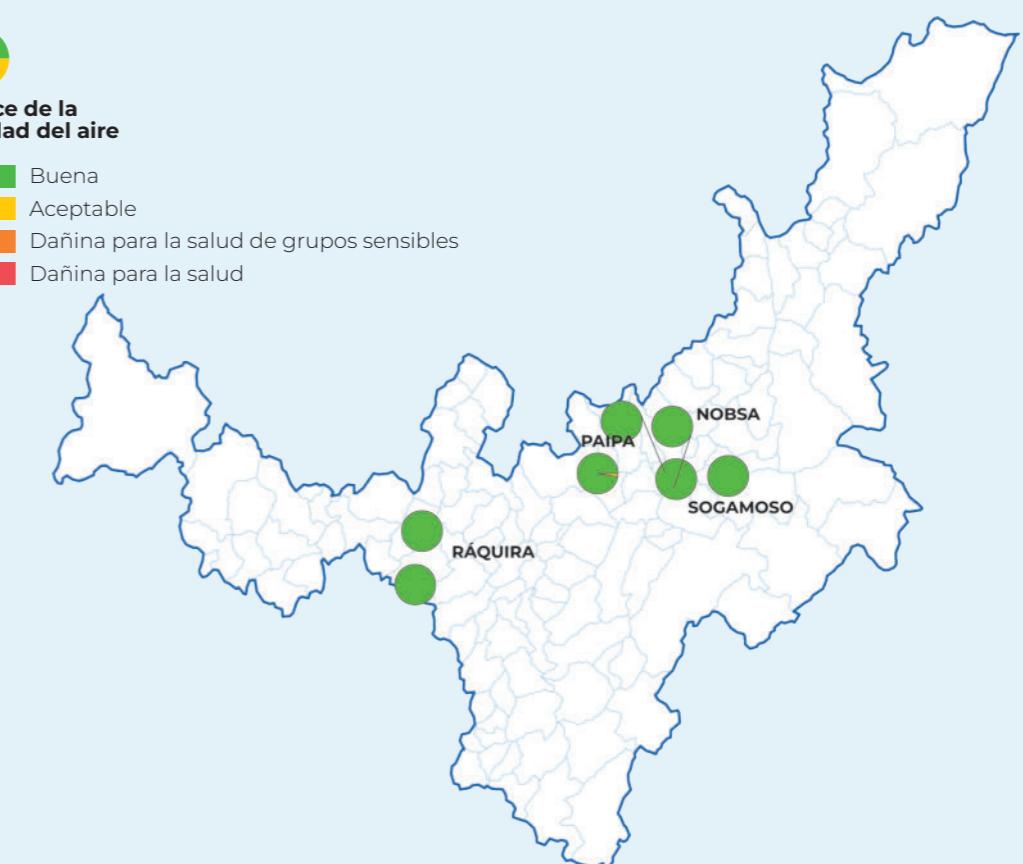
**SO₂ Dióxido de azufre**Concentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

7 estaciones tuvieron representatividad temporal.

4 estaciones estaciones registraron excedencias al nivel máximo permisible diario -el SO₂ no considera nivel máximo permisible anual-.

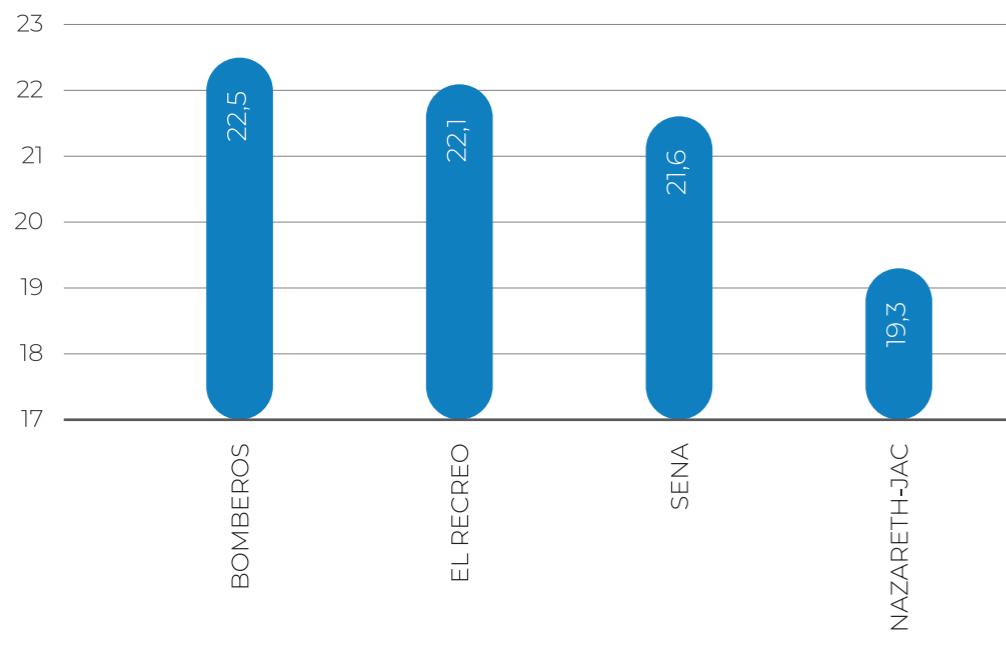
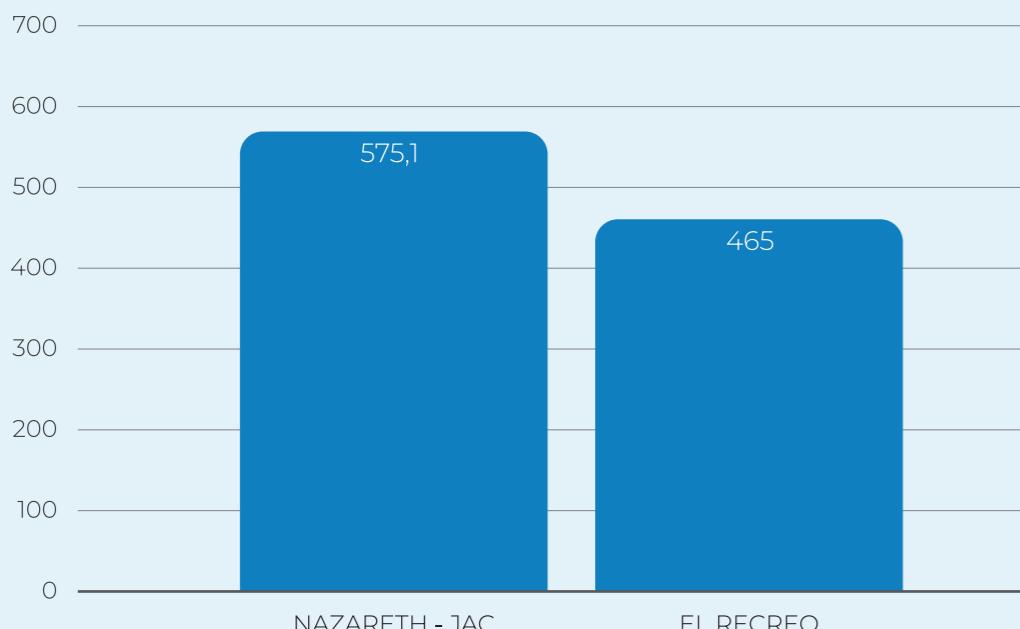
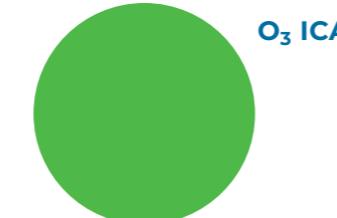
SO₂ ICA

- Buena (Green)
- Aceptable (Yellow)
- Dañina para la salud de grupos sensibles (Orange)
- Dañina para la salud (Red)

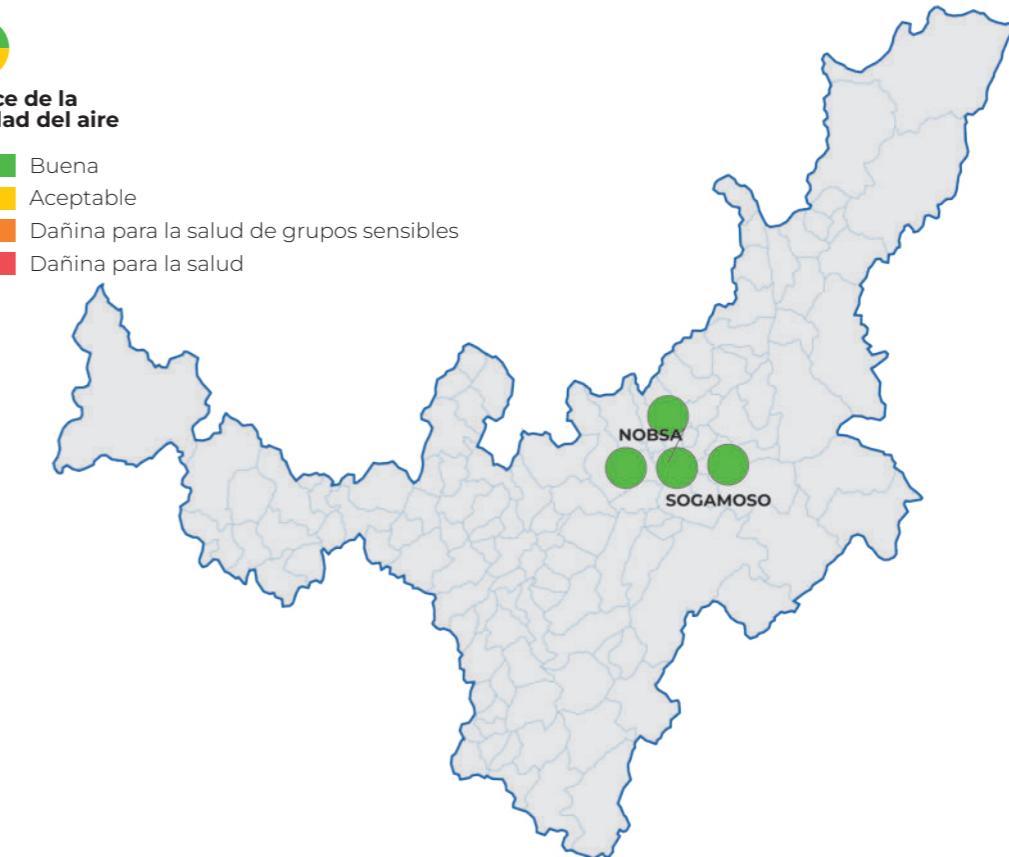
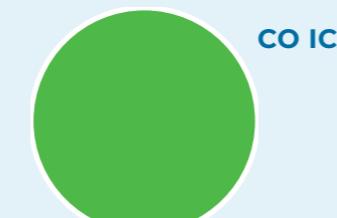


El 100 % de los datos para NO₂ señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.

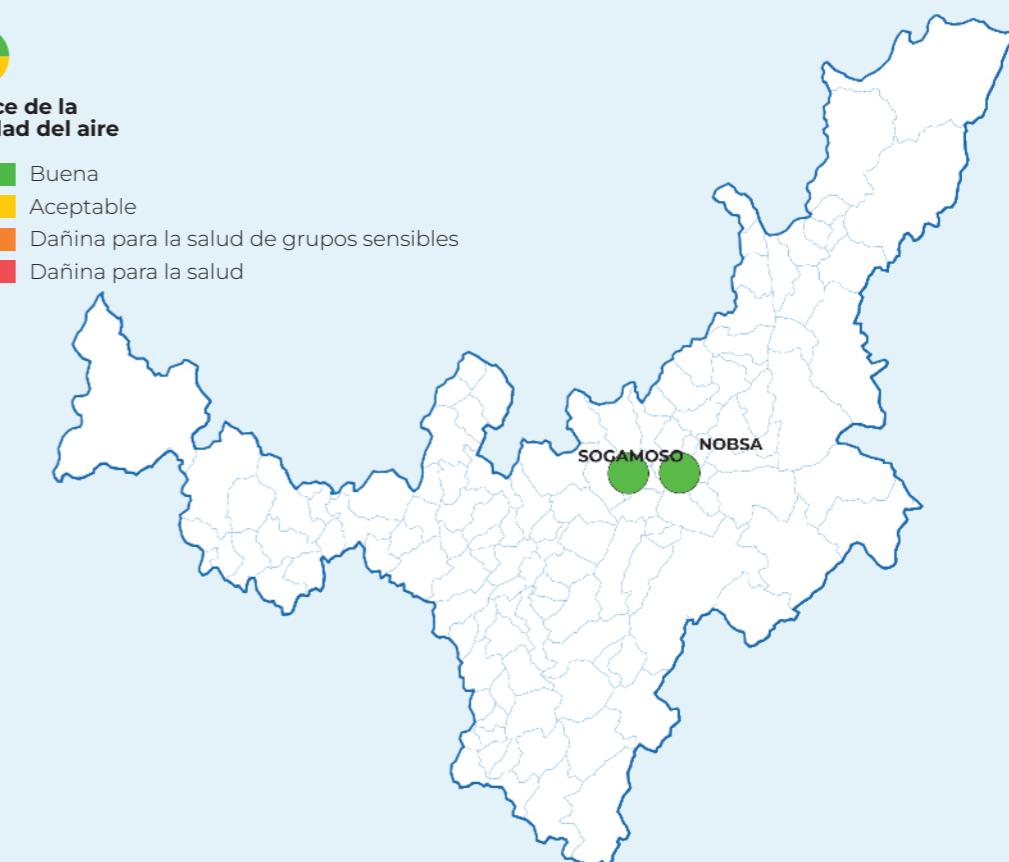
El 99 % de los datos para SO₂ señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.

O₃ Ozono troposféricoConcentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**CO Monóxido de carbono**Concentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**4 estaciones** con representatividad temporal.**1 estación** reportó excedencias al nivel máximo permisible octohorario - el O₃ no considera nivel máximo permisible anual-.**El 100 %** de los datos señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.**Índice de la calidad del aire**

ICA clasificación	
Buena	Verde
Aceptable	Ambar
Dañina para la salud de grupos sensibles	Naranja
Dañina para la salud	Rojo

**2 estaciones** tuvieron representatividad temporal.**Ninguna estación** reportó excedencias al nivel máximo permisible octohorario -el CO no considera nivel máximo permisible anual-.**El 100 %** de los datos para CO señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.**Índice de la calidad del aire**

ICA clasificación	
Buena	Verde
Aceptable	Ambar
Dañina para la salud de grupos sensibles	Naranja
Dañina para la salud	Rojo



 **Infografía 18.** Estado de la calidad del aire regional - **Departamento de Caldas**



■ Caldas
■ División municipal
● Estación fija

1 SCVA
Corporación Autónoma
Regional de Caldas –
Corpocaldas-

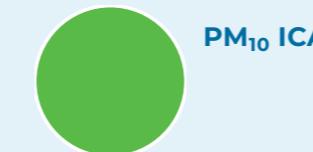
8 Estaciones fijas
1 Estaciones indicativas

4 Municipios:
BELALCAZAR
LA DORADA
MANIZALES
SAN JOSÉ

7 estaciones con representatividad temporal.

100 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual vigente.

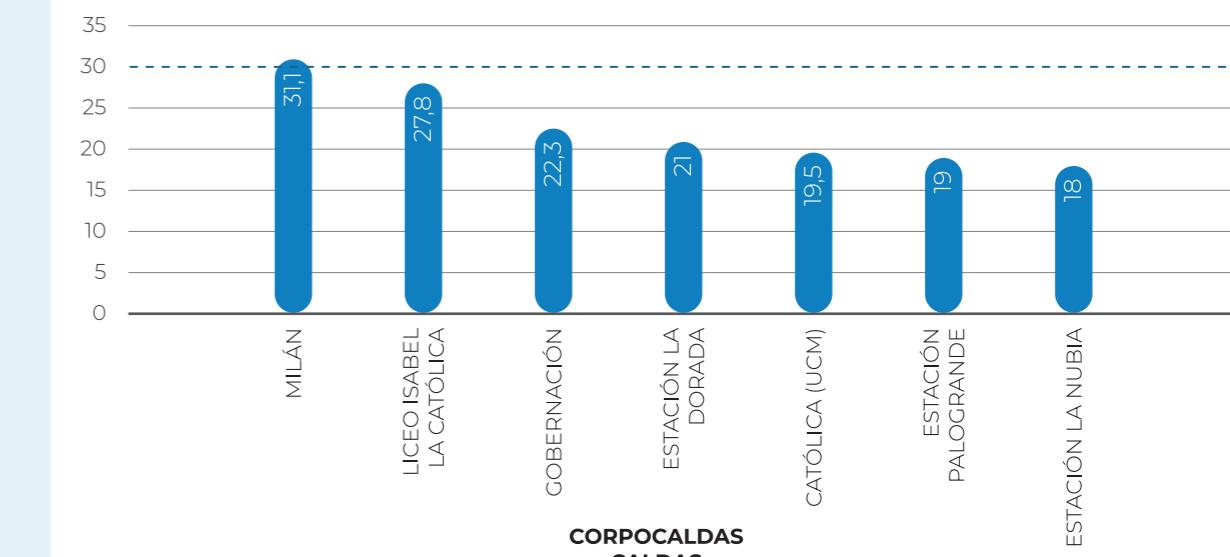
86 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual proyectado a 2030.



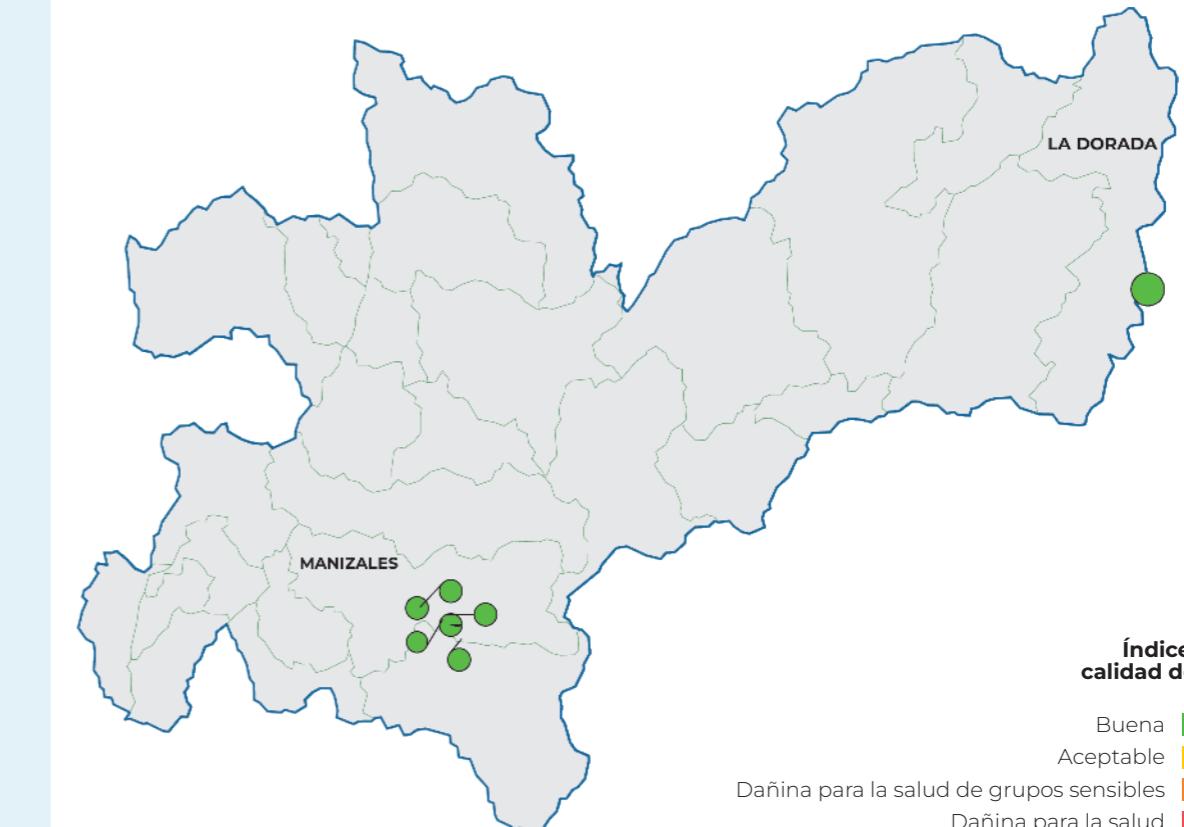
El 100 % de los datos para PM₁₀ señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.

PM₁₀ material particulado menor a 10 micras

Concentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



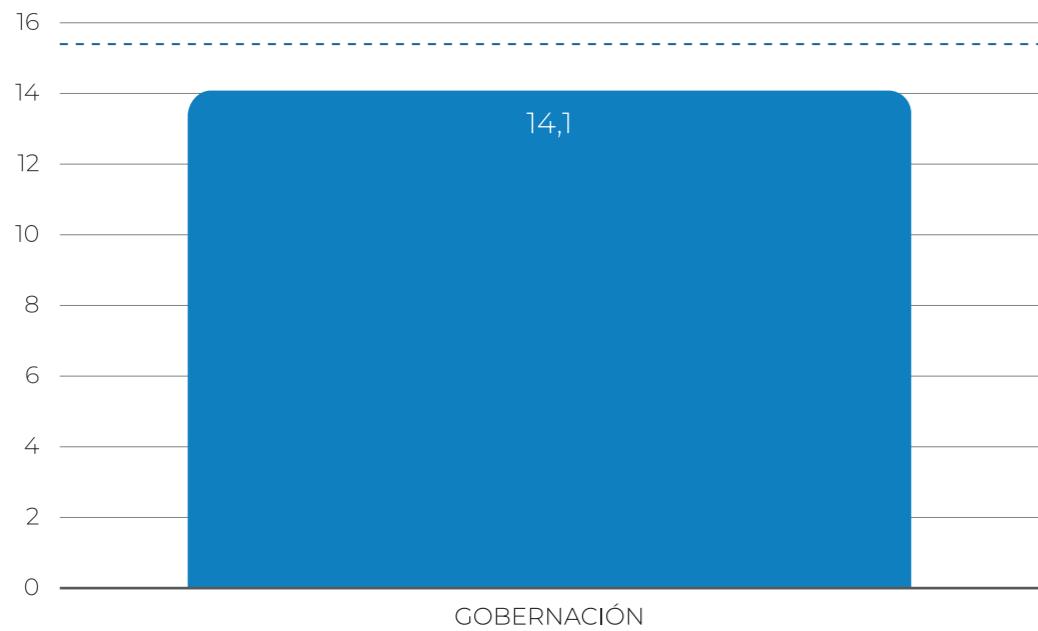
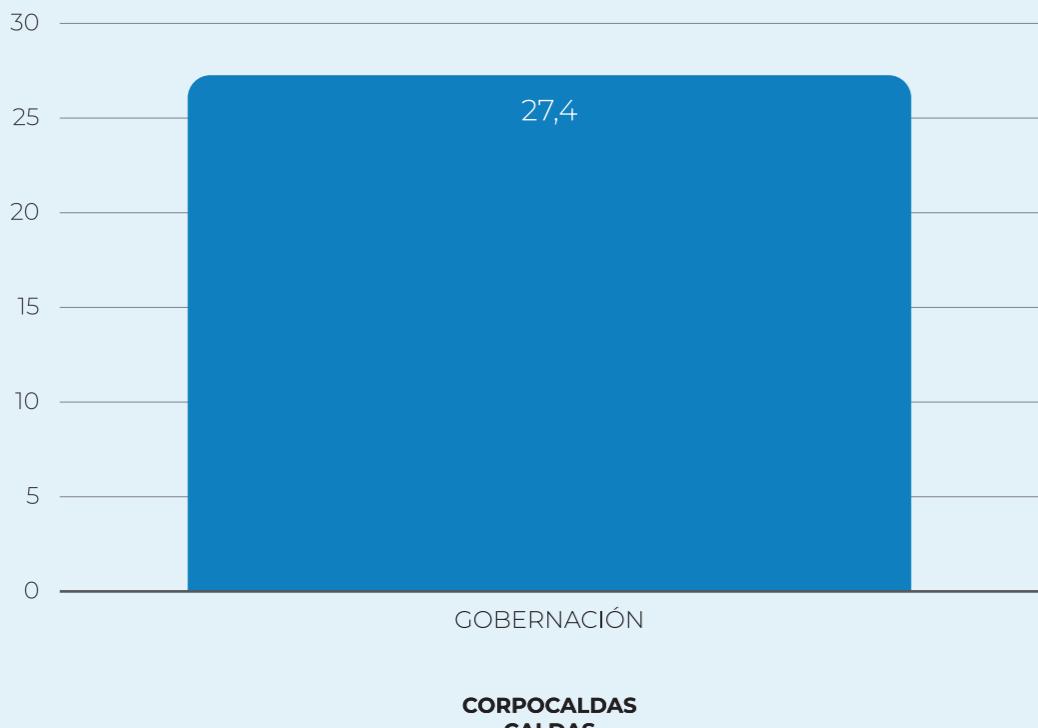
CORPOCALDAS CALDAS



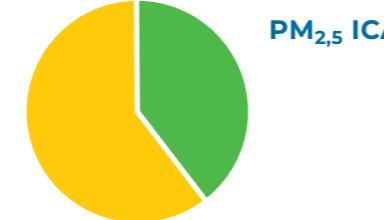
Índice de la calidad del aire

Buena ■
Aceptable ■
ICA ■
Clasificación ■
Dañina para la salud de grupos sensibles ■
Dañina para la salud ■

Fuente: Ideam (2022).

PM_{2,5} material particulado menor a 2,5 micrasConcentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**O₃ Ozono troposférico**Concentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**1 estación** tuvo representatividad temporal.

Esta estación cumplió con el nivel máximo permisible anual vigente y con el nivel máximo permisible anual proyectado a 2030.



El 59 % de los datos para PM_{2,5} señaló un estado de la calidad del aire **aceptable**.

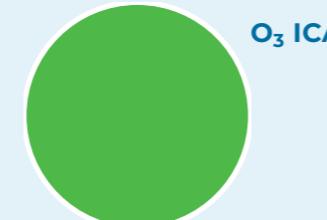
El 41 % de los datos, señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.



ICA
Clasificación
■ Buena
■ Aceptable
■ Dañina para la salud de grupos sensibles
■ Dañina para la salud

**1 estación** tuvo representatividad temporal.

La estación no reportó excedencias al nivel máximo permisible octohorario -el O₃ no considera nivel máximo permisible anual-,



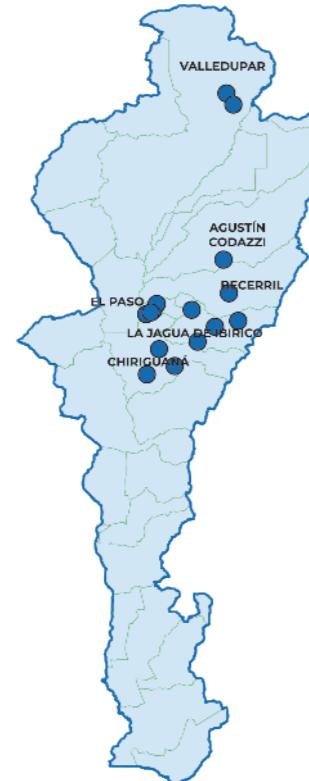
El 100 % de los datos para O₃, señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.



ICA
Clasificación
■ Buena
■ Aceptable
■ Dañina para la salud de grupos sensibles
■ Dañina para la salud



Infografía 19. Estado de la calidad del aire regional - Departamento del Cesar

**1 SCVA**

Corporación Autónoma Regional del Cesar –Corpocesar

**16 Estaciones fijas****0 Estaciones indicativas****6 Municipios:**

AGUSTÍN CODAZZI

BECERRIL

CHIRIGUANÁ

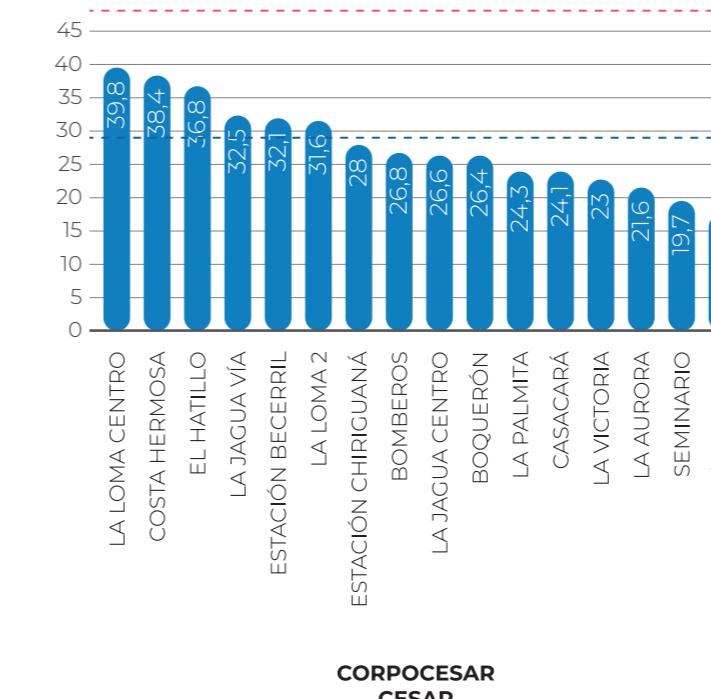
EL PASO

LA JAGUA DE IBIRICO

VALLEDUPAR

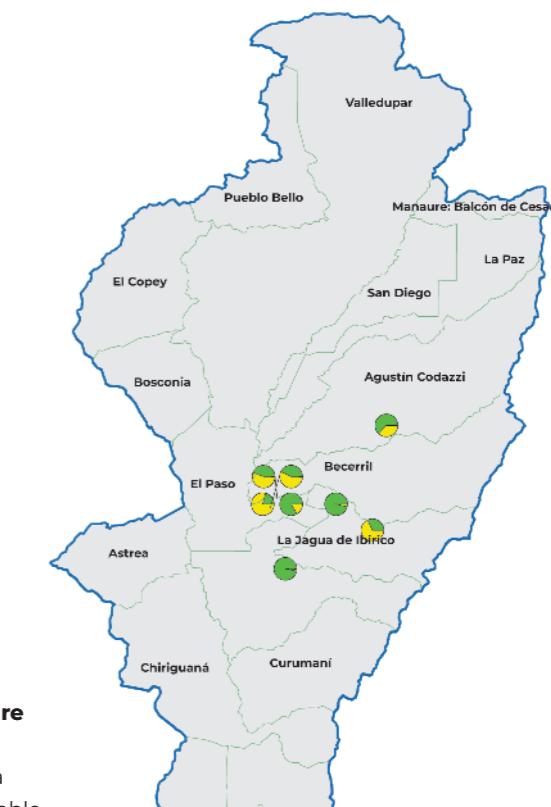
16 estaciones tuvieron representatividad temporal.**100 %** de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual vigente.**63 %** de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual proyectado a 2030.**PM₁₀ ICA****El 100 %** de los datos para PM₁₀, señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.**8 estaciones** con representatividad temporal.**100 %** de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual vigente.**63 %** de las estaciones cumplió con el nivel máximo permisible anual proyectado a 2030.**PM_{2,5} ICA****El 59,84 %** de los datos para PM_{2,5}, señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.**El 39,11 %** de los datos señaló un estado de la calidad del aire **aceptable**.**El 0,95 %** de los datos señaló un estado de la calidad del aire **dañino para la salud de los grupos sensibles**.**El 0,11 %** de los datos señaló un estado de la calidad

PM₁₀ material particulado menor a 10 micras

Concentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

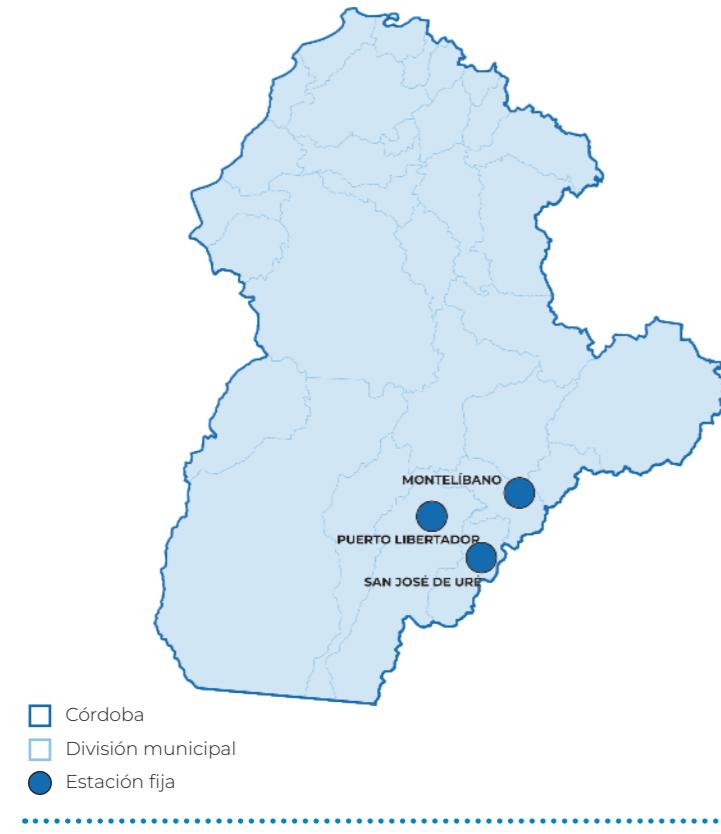
ICA Clasificación

- Buena (Verde)
- Aceptable (Amarillo)
- Dañina para la salud de grupos sensibles (Naranja)
- Dañina para la salud (Rojo)



Fuente: Ideam (2022).

Infografía 20. Estado de la calidad del aire regional - Departamento de Córdoba



1 SCVA
Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge CVS-

4 Estaciones fijas
4 Estaciones indicativas

4 Municipios:
MONTELÍBANO
MONTERÍA
PUERTO LIBERTADOR
SAN JOSÉ DE URÉ

3 estaciones tuvieron representatividad temporal.

100 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual vigente.

33 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual proyectado a 2030.

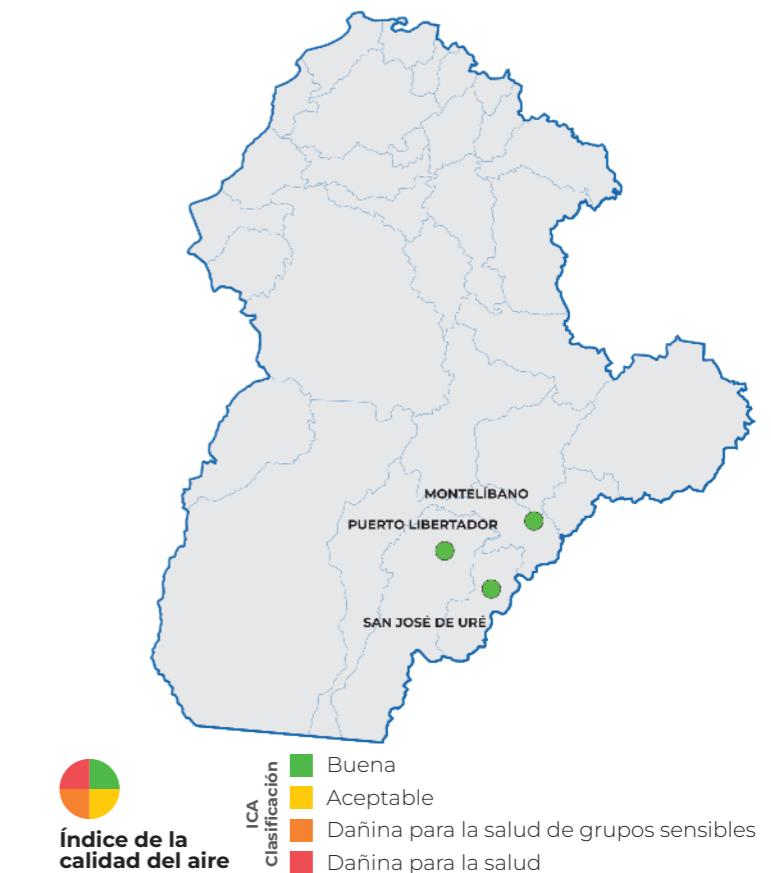
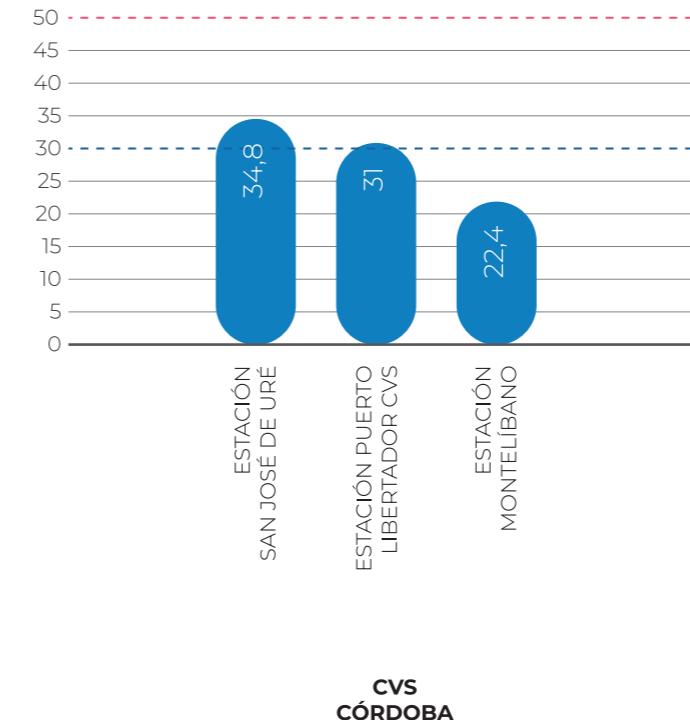


El **99,7 %** de los datos para PM₁₀, señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.

El **0,3 %** de los datos señaló un estado de la calidad del aire **aceptable**.

PM₁₀ material particulado menor a 10 micras

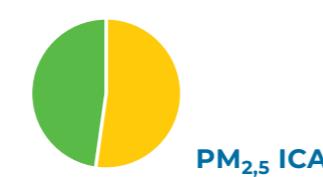
Concentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



3 estaciones con representatividad temporal.

100 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual vigente.

67 % de las estaciones cumplió con el nivel máximo permisible anual proyectado a 2030.

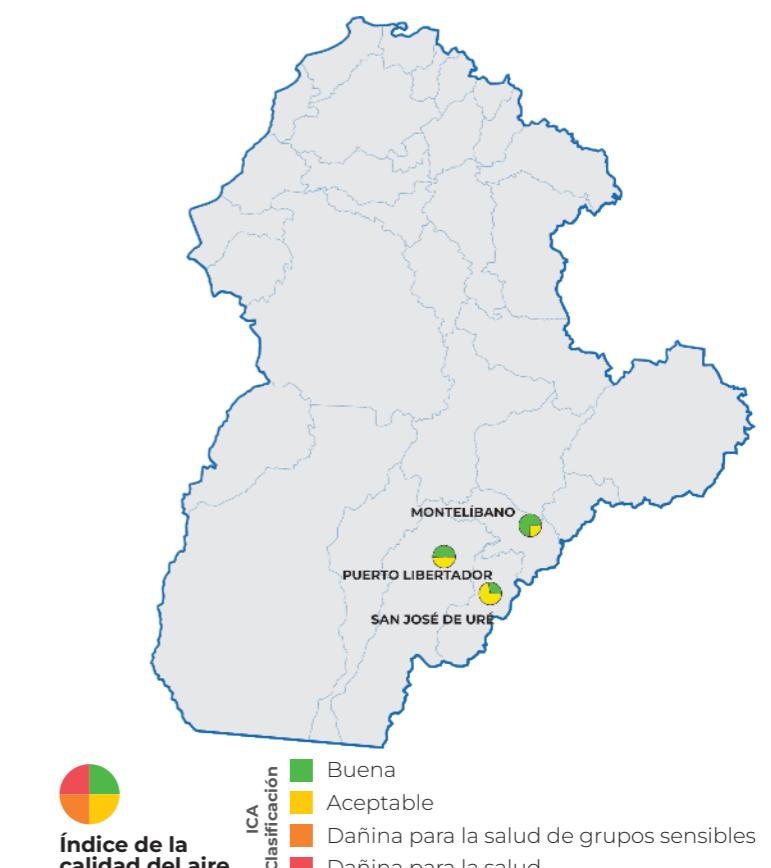
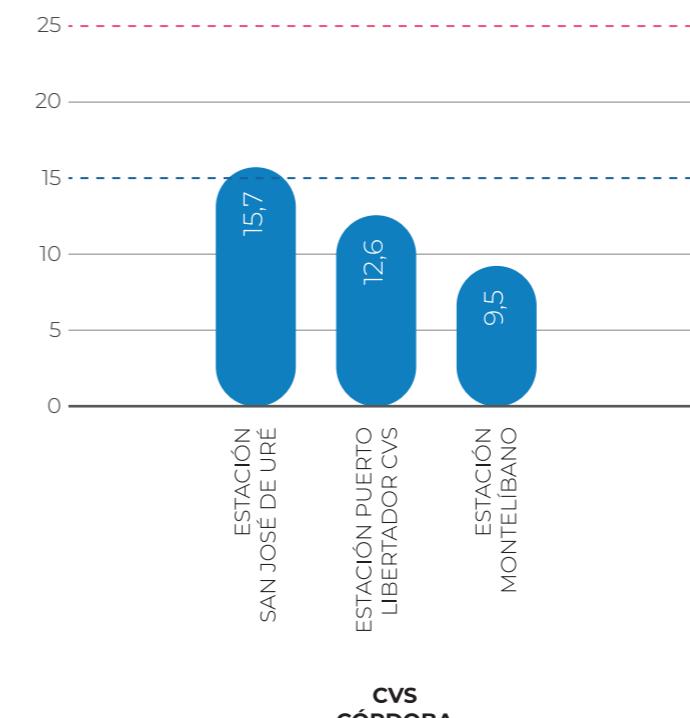


El **50,9 %** de los datos PM_{2.5}, señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.

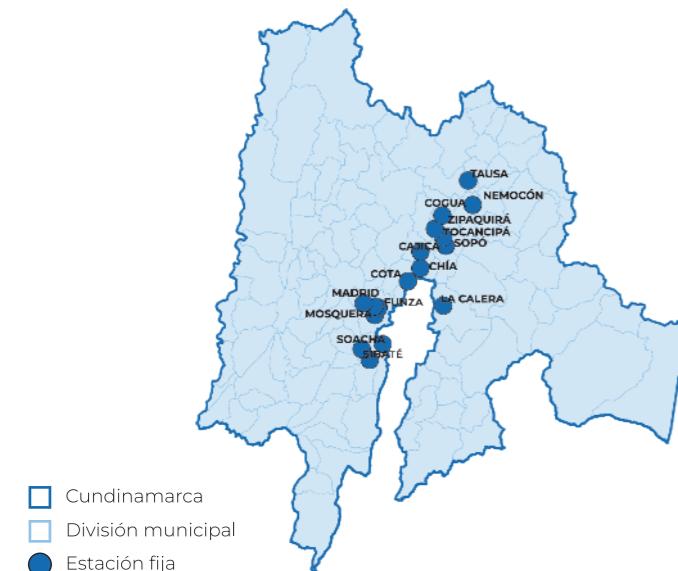
El **49,1 %** los datos, señaló un estado de la calidad del aire **aceptable**.

PM_{2.5} material particulado menor a 2,5 micras

Concentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



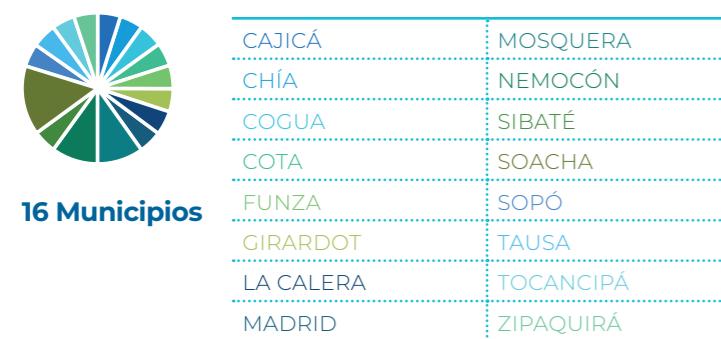
Infografía 21. Estado de la calidad del aire regional - **Departamento de Cundinamarca**



1 SCVA
Corporación Autónoma Regional de
Cundinamarca -CAR-

20 Estaciones fijas

0 Estaciones indicativas



16 estaciones tuvieron representatividad temporal

94 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual vigente.

50 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual proyectado a 2030.



El 92,9 % de los datos para PM₁₀, señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.

El 7 % de los datos señaló un estado de la calidad del aire **aceptable**.

11 estaciones tuvieron representatividad temporal.

100 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual vigente.

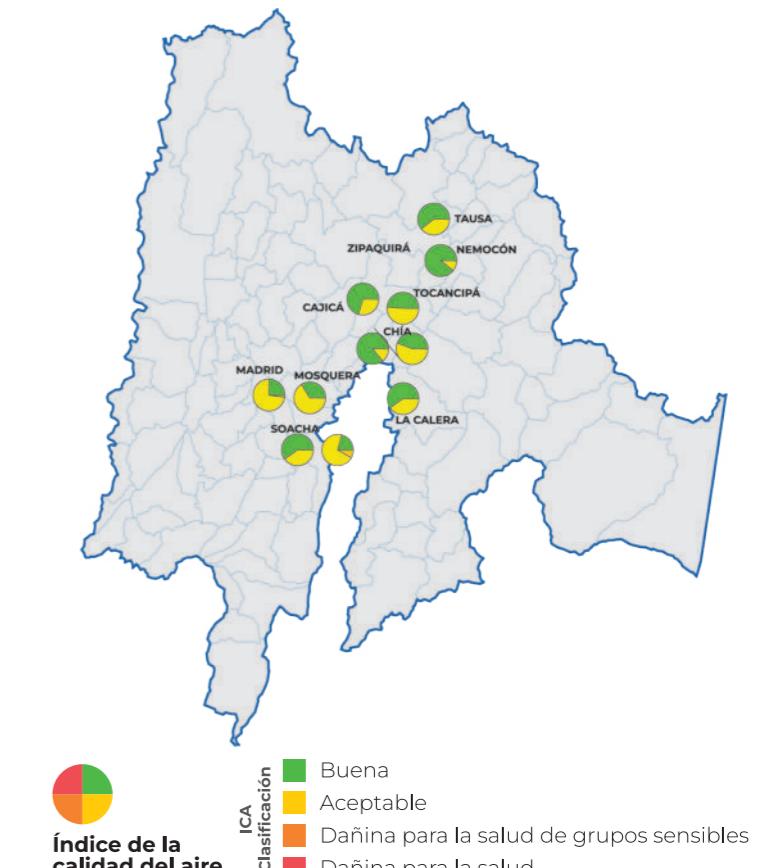
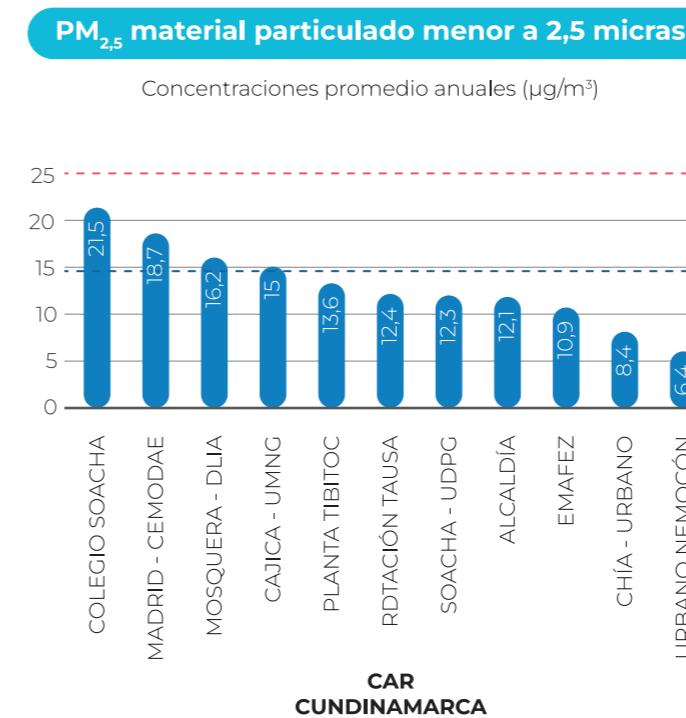
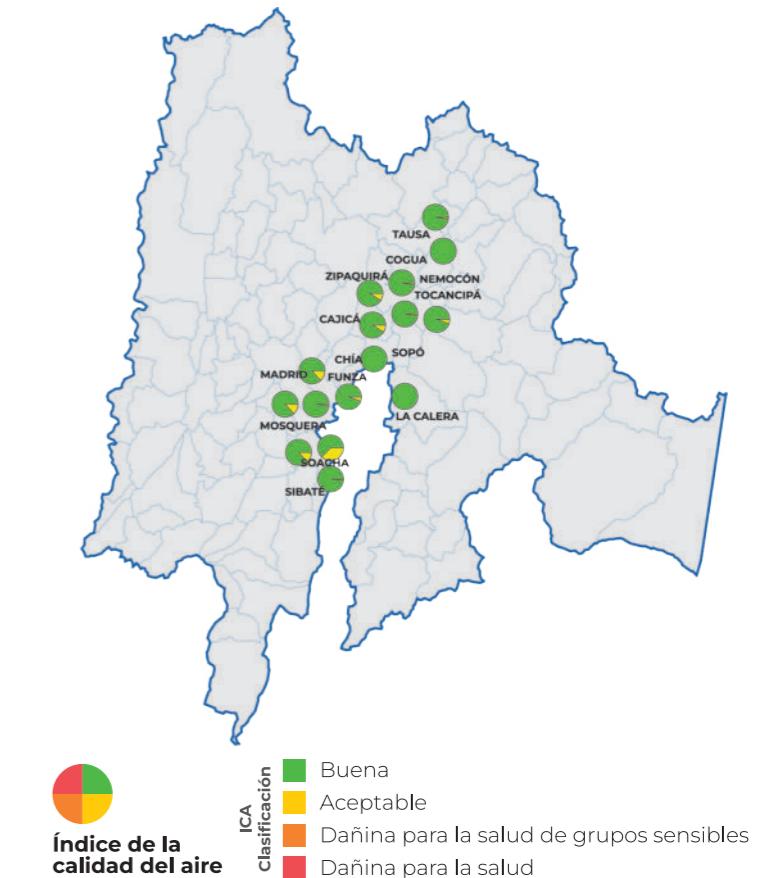
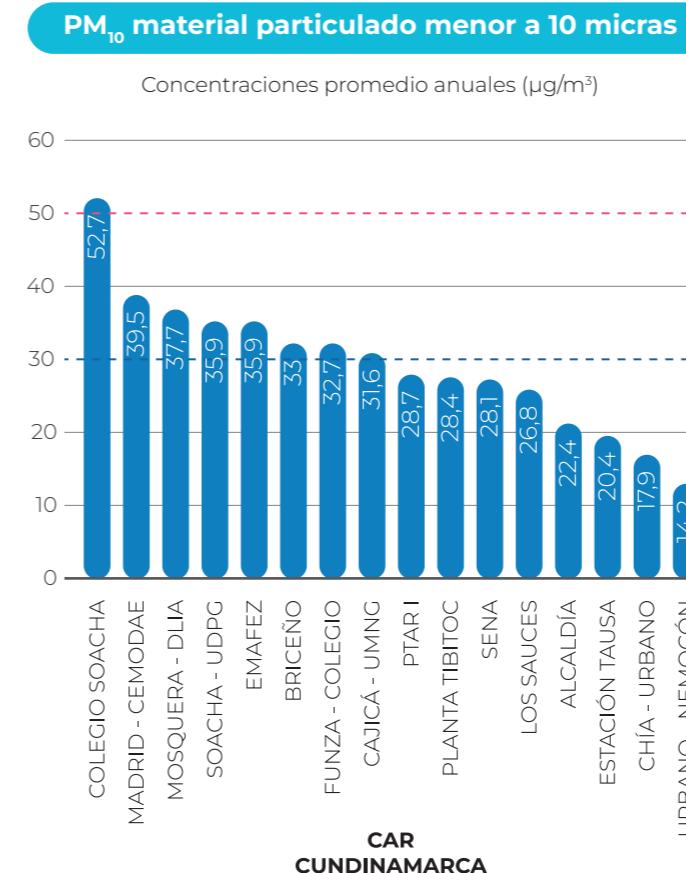
64 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual proyectado a 2030.



El 53,95 % de los datos para PM_{2,5}, señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.

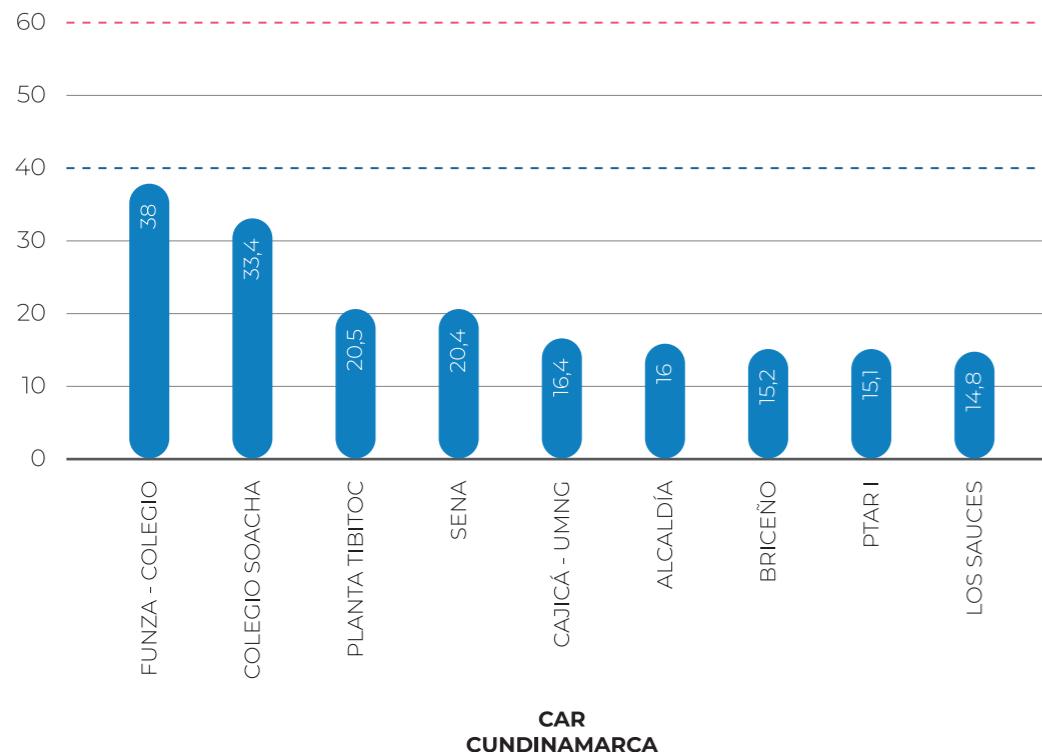
El 44,77 % de los datos señaló un estado de la calidad del aire **aceptable**.

El 1,24 % de los datos señaló un estado de la calidad del aire **dañino para la salud de los grupos sensibles**.



NO₂ Dióxido de nitrógeno

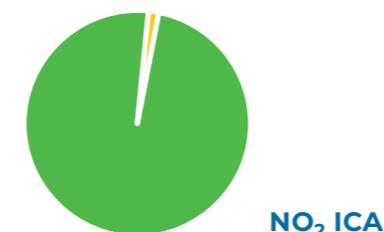
Concentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



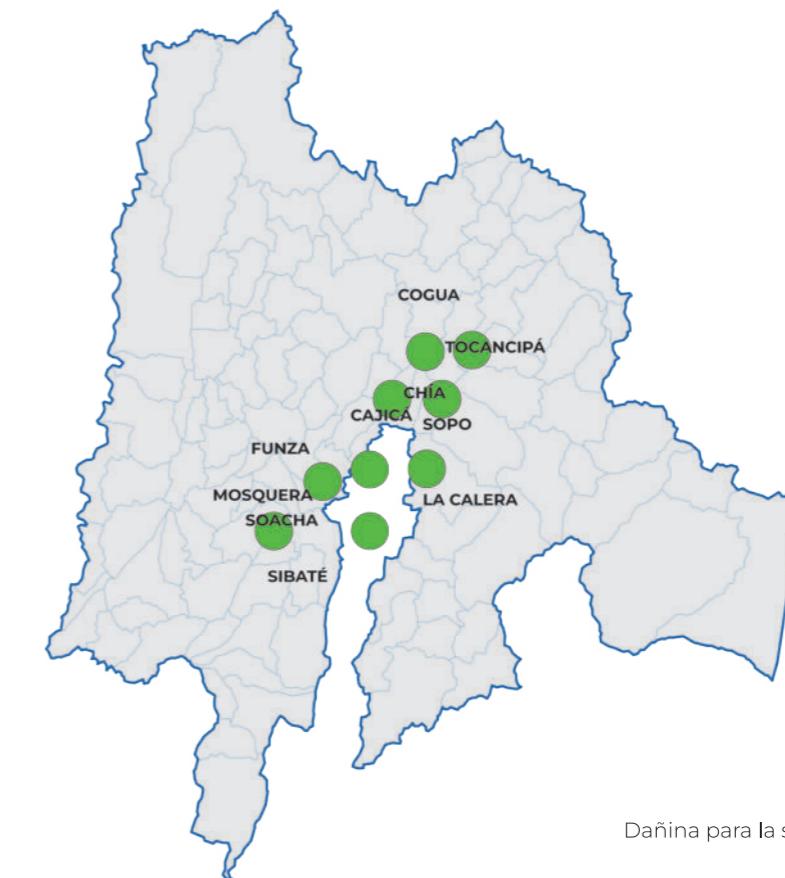
9 estaciones tuvieron representatividad temporal.

100 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual vigente.

100 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual proyectado a 2030.



El **99 %** de los datos para NO₂ señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.

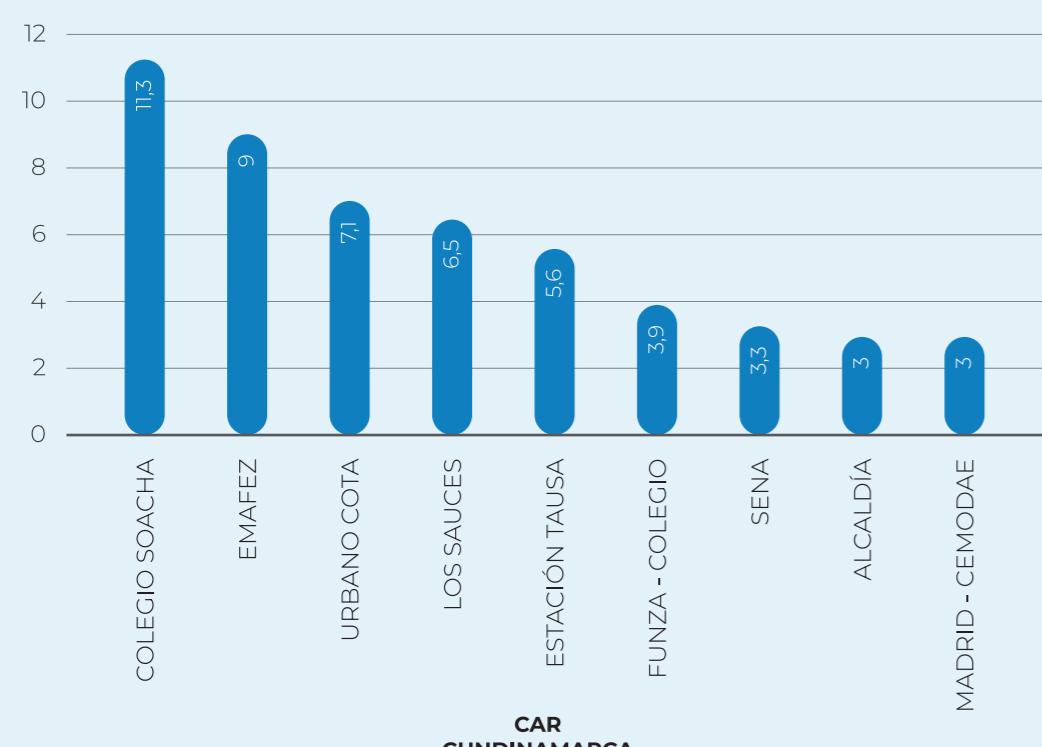


Índice de la calidad del aire

Buena	[Green square]
Aceptable	[Yellow square]
ICA	[Orange square]
Clasificación	[Red square]

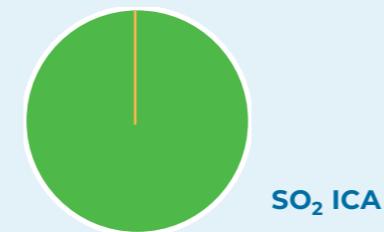
SO₂ Dióxido de azufre

Concentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

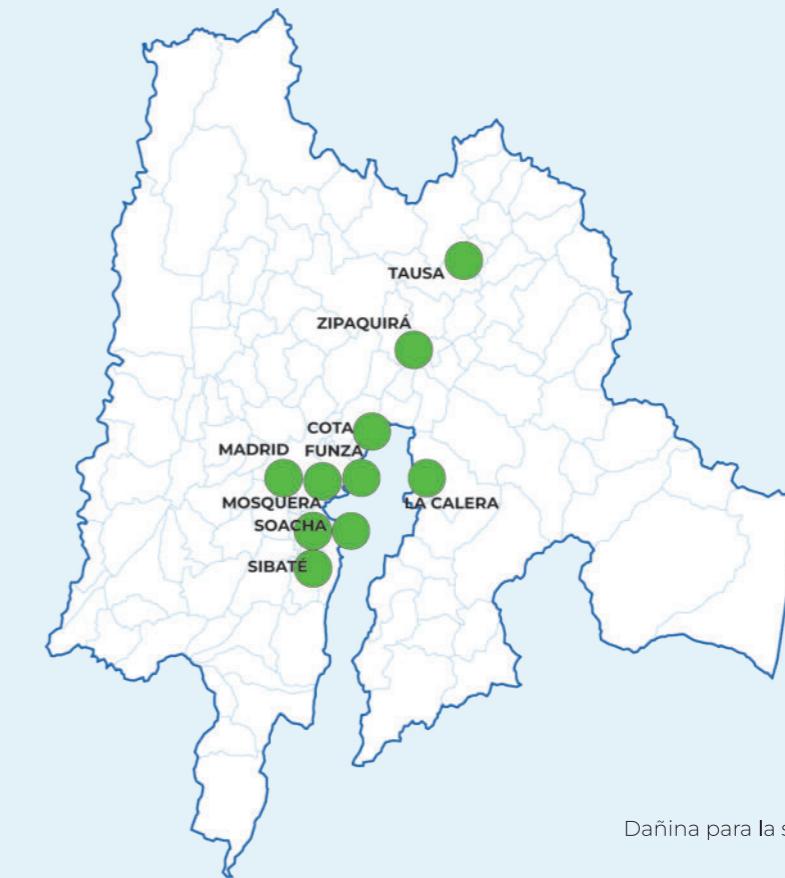


9 estaciones tuvieron representatividad temporal.

1 estación registró excedencias al nivel máximo permisible diario -el SO₂ no considera nivel máximo permisible anual-.

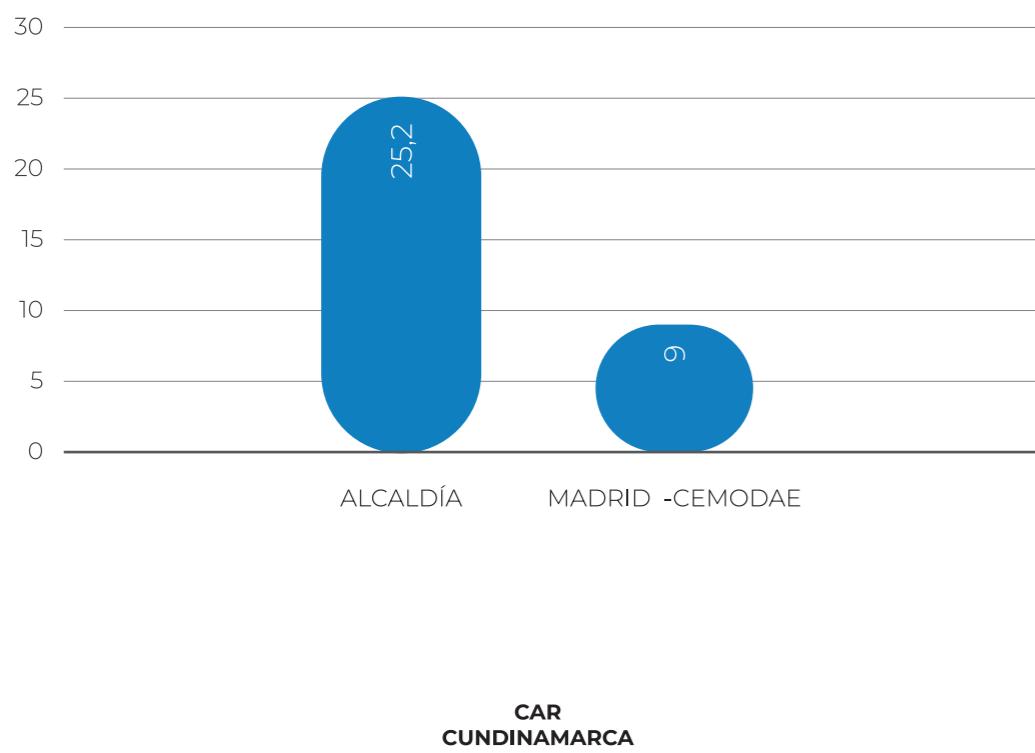


El **99,9 %** de los datos para SO₂, señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.

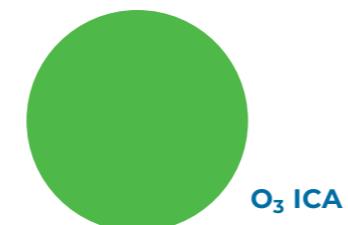


Índice de la calidad del aire

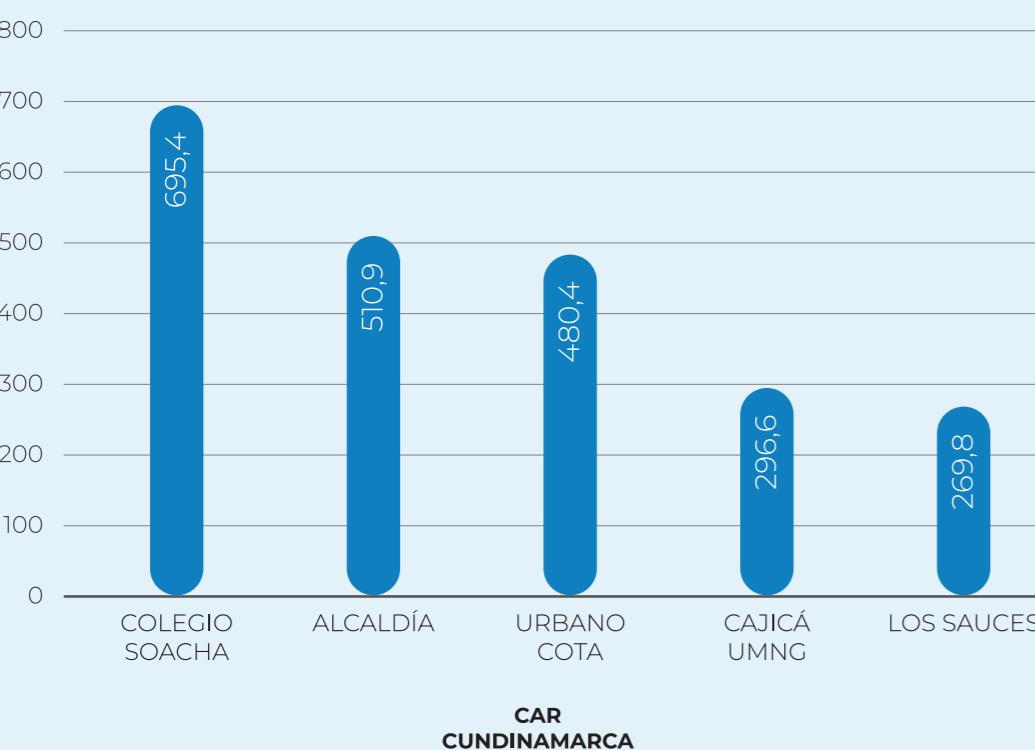
Buena	[Green square]
Aceptable	[Yellow square]
ICA	[Orange square]
Clasificación	[Red square]

O₃ Ozono troposféricoConcentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**2 estaciones** con representatividad temporal.

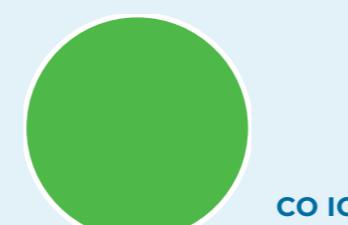
Ninguna estación reportó excedencias al nivel máximo permisible octohorario -el O₃ no considera nivel máximo permisible anual-.



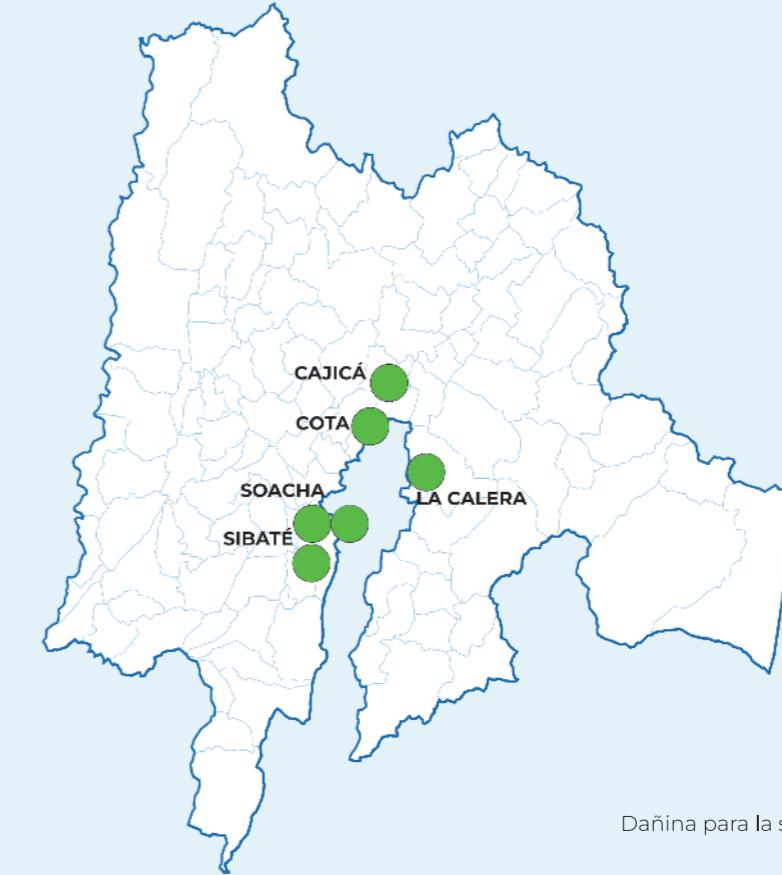
El 100 % de los datos para O₃ señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.

**CO Monóxido de carbono**Concentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**5 estaciones** tuvieron representatividad temporal.

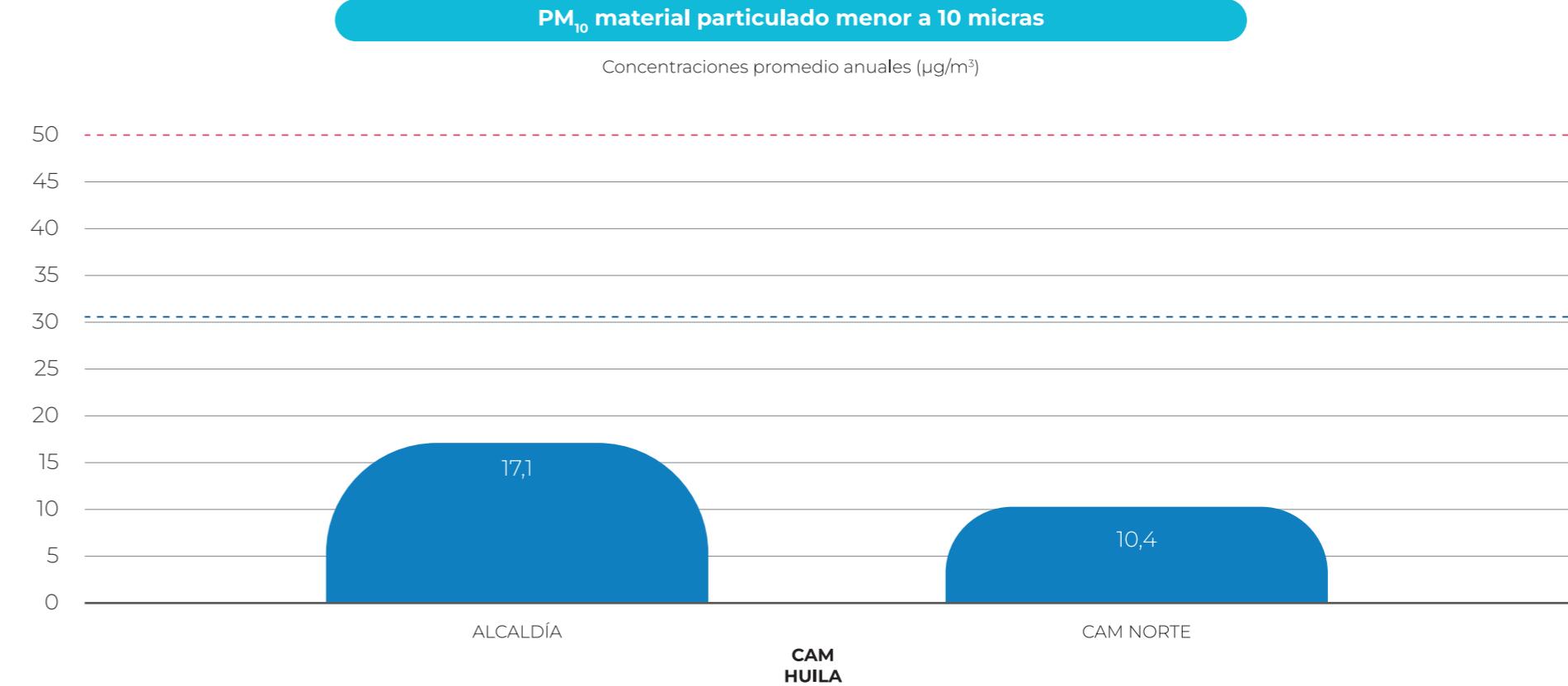
Ninguna estación reportó excedencias al nivel máximo permisible octohorario -el CO no considera nivel máximo permisible anual-.



El 100 % de los datos para CO señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.



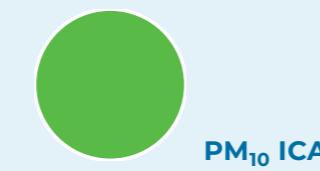
 **Infografía 22.** Estado de la calidad del aire regional - **Departamento del Huila**



-  **1 SCVA**
Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena -CAM-
-  **2 Estaciones fijas**
0 Estaciones indicativas
-  **1 Municipio:**
NEIVA

2 estaciones con representatividad temporal.

El 100 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual proyectado a 2030.

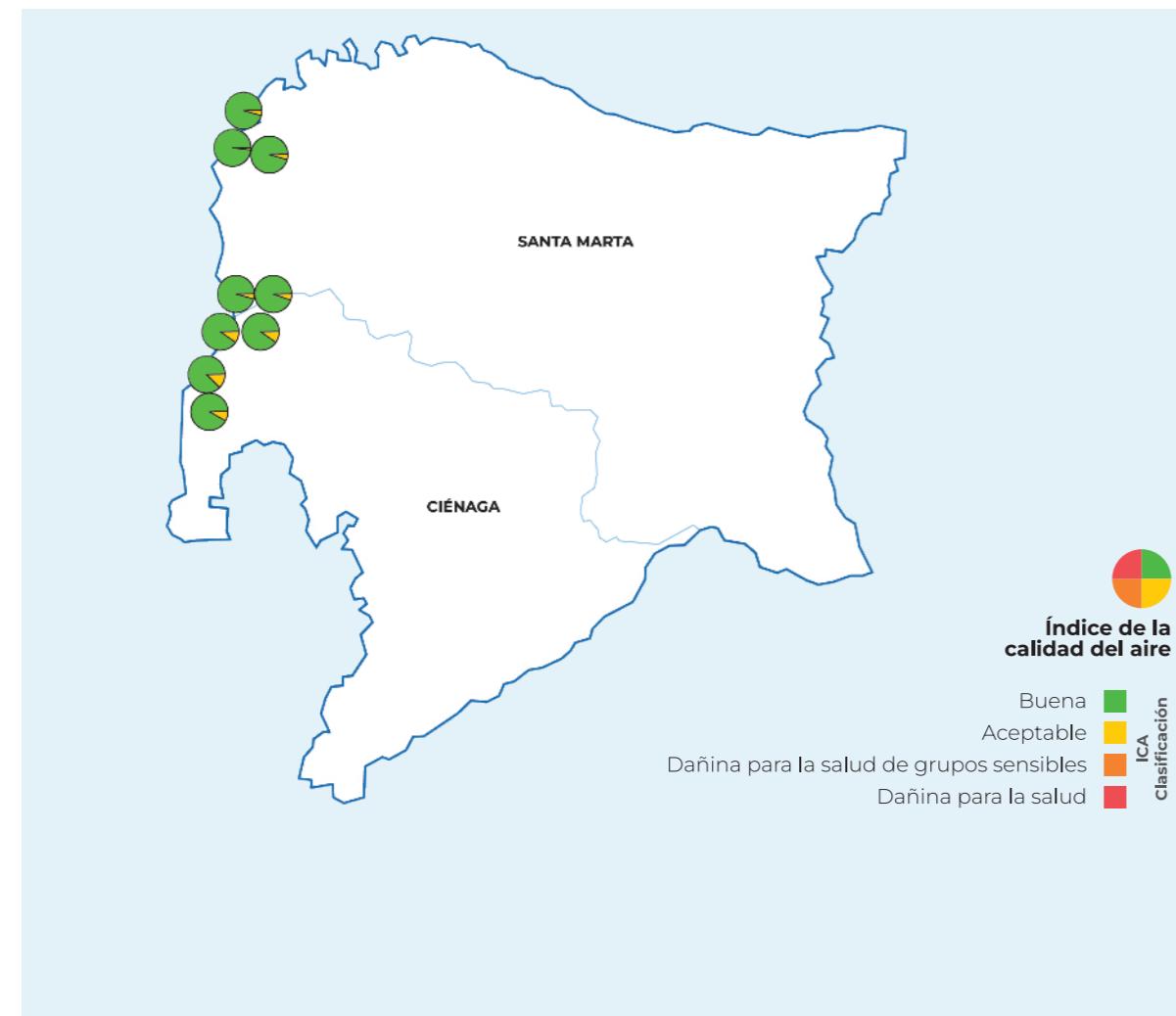
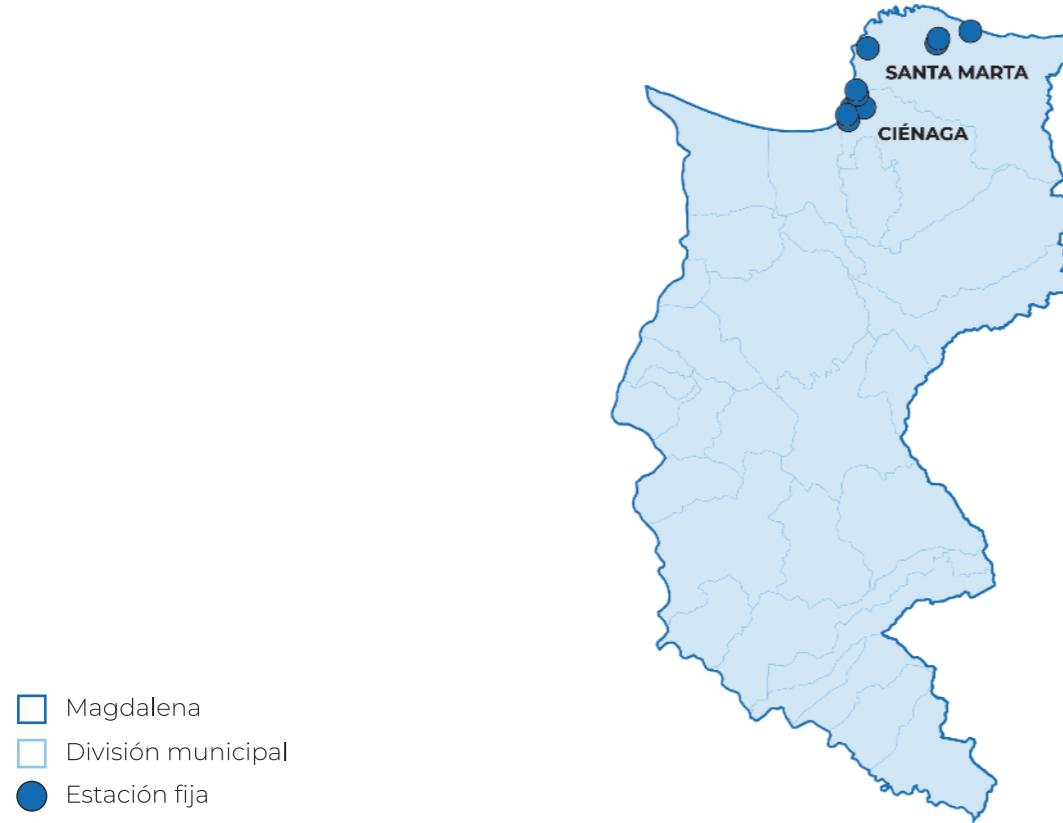


El 100 % de los datos para PM₁₀ señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.



Fuente: Ideam (2022).

Infografía 23. Estado de la calidad del aire regional - Departamento de Magdalena



1 SCVA
Corporación Autónoma
Regional del Magdalena
-Corpamag-

11 Estaciones fijas 0 Estaciones indicativas

2 Municipios:

9 estaciones con representatividad temporal.

100 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual vigente.

33 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual proyectado a 2030.



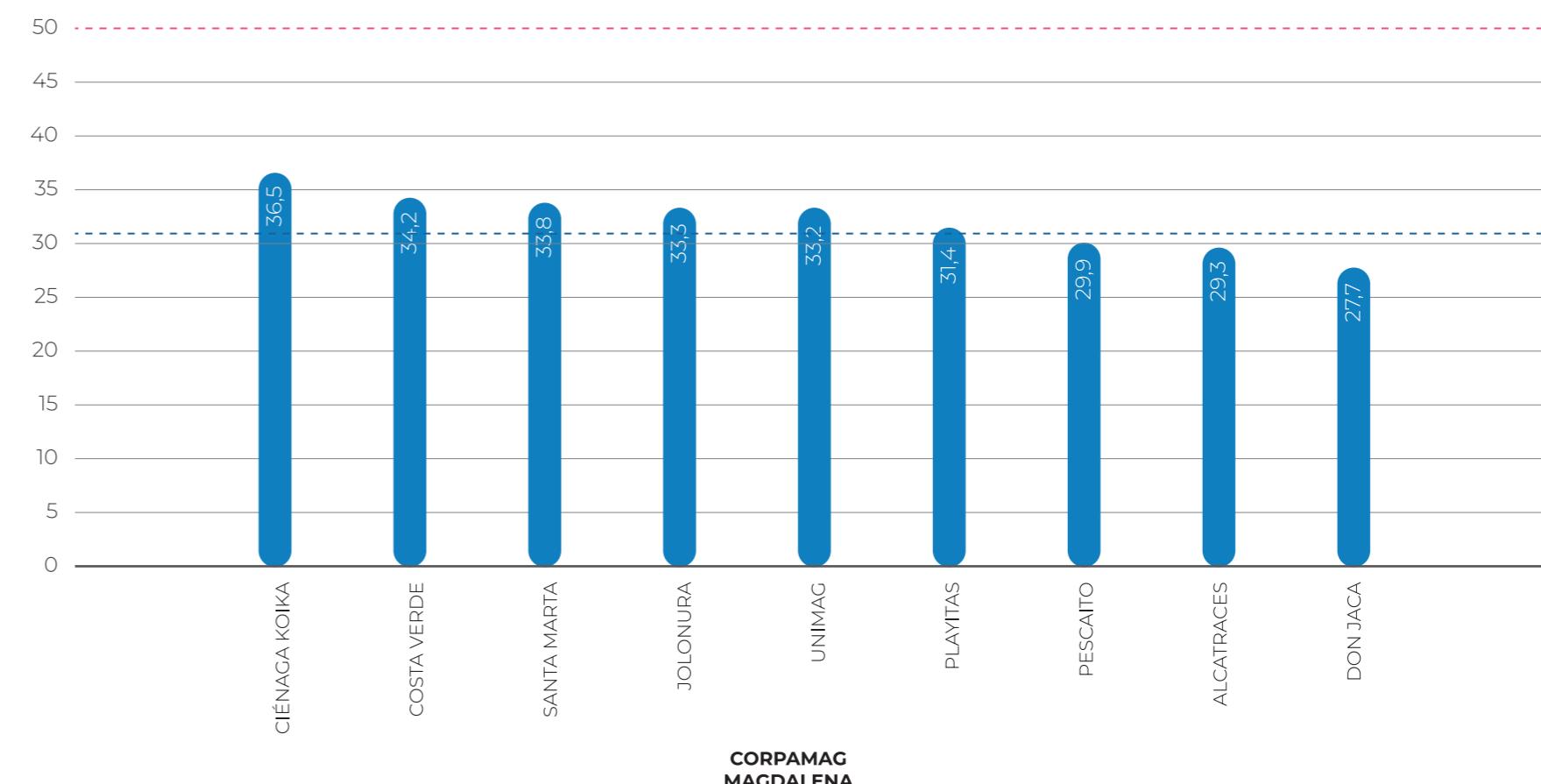
PM₁₀ ICA

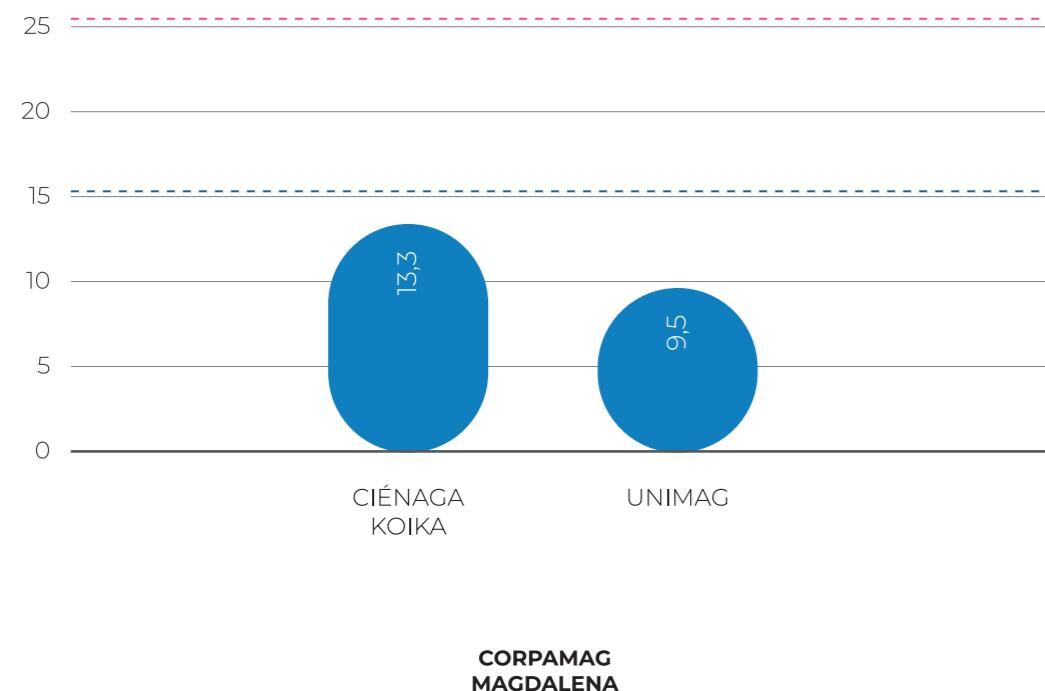
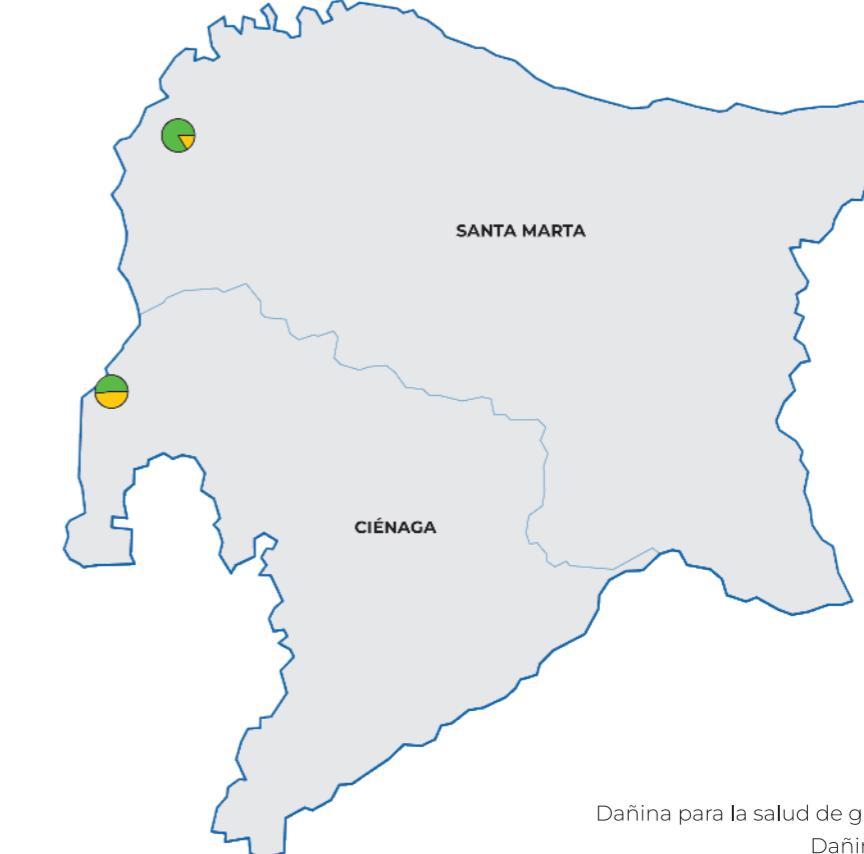
El 93,2 % de los datos para PM₁₀ señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.

El 6,7 % de los datos señaló un estado de la calidad del aire **aceptable**.

PM₁₀ material particulado menor a 10 micras

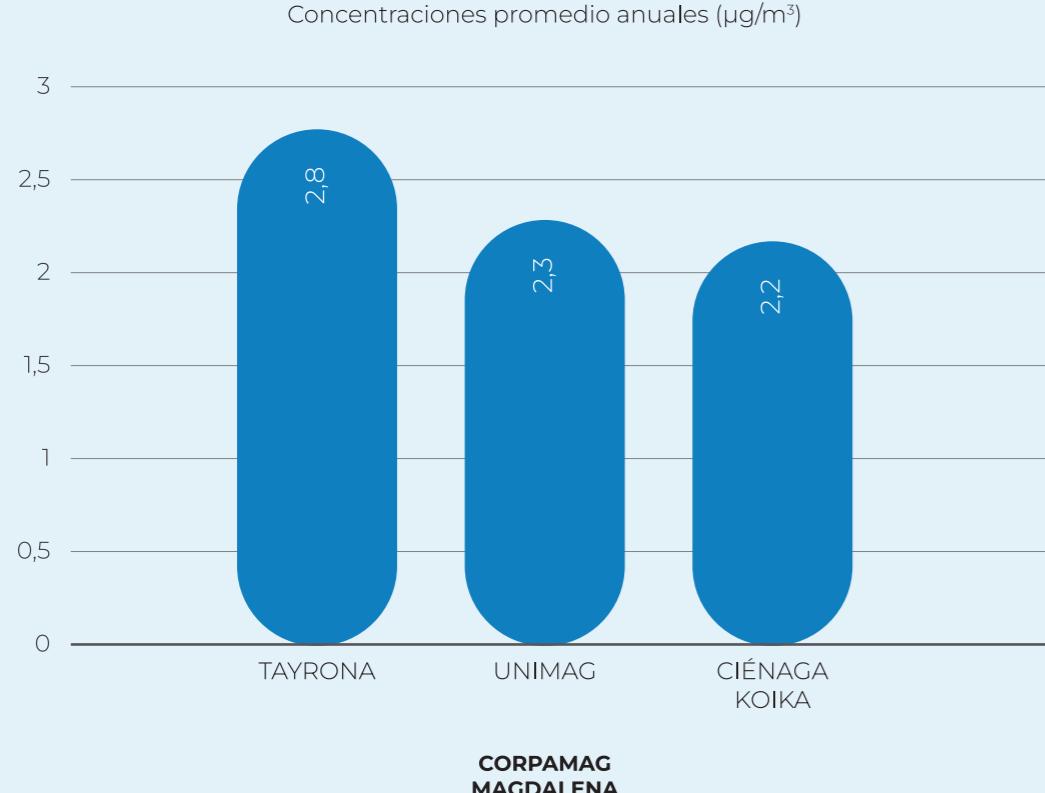
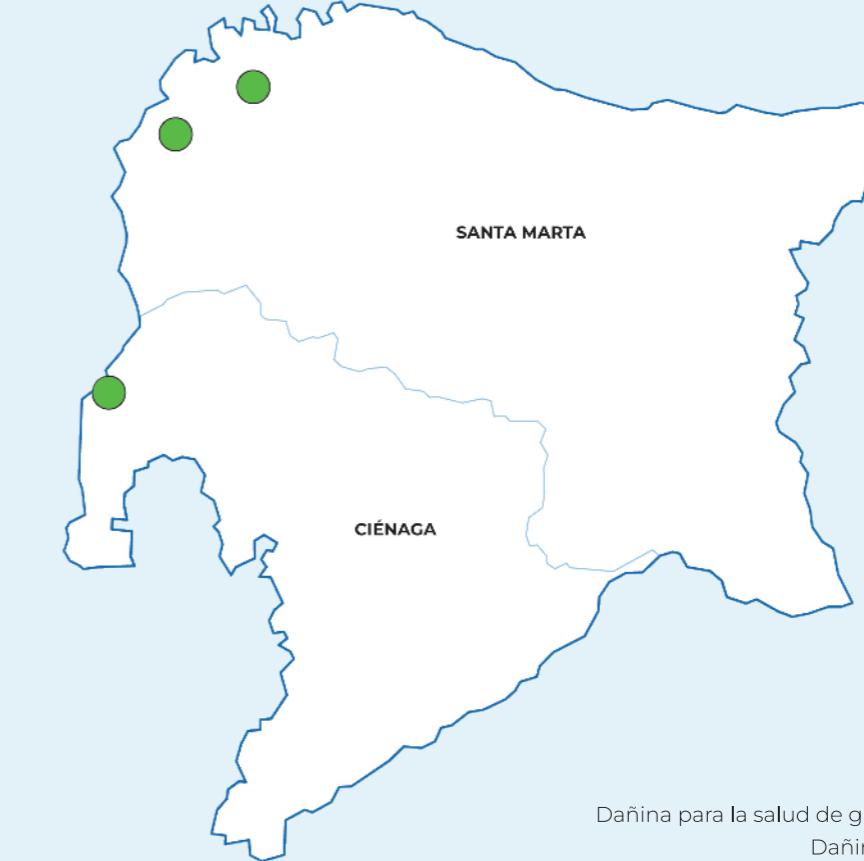
Concentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



PM_{2,5} Material particulado menor a 2,5 micrasConcentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**2 estaciones** con representatividad temporal.**100 %** de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual vigente.**100 %** de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual proyectado a 2030.**El 66,5 %** de los datos para PM_{2,5} señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.**El 33,5 %** de los datos señaló un estado de la calidad del aire **aceptable**.

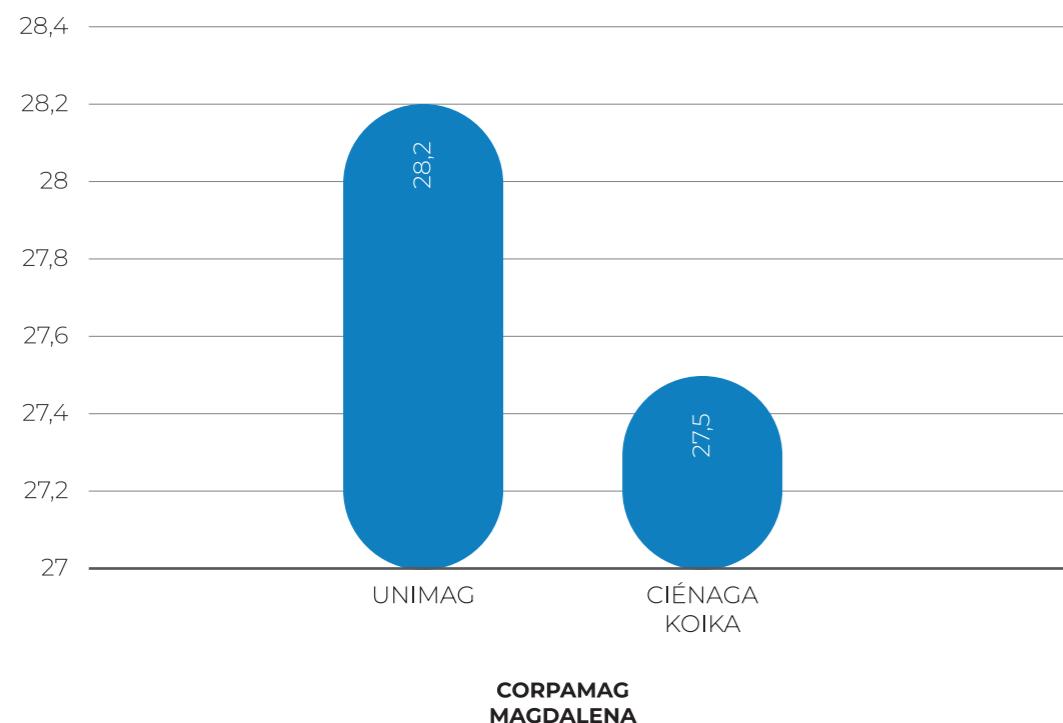
Índice de la calidad del aire

- Buena
- Aceptable
- ICA
- Clasificación

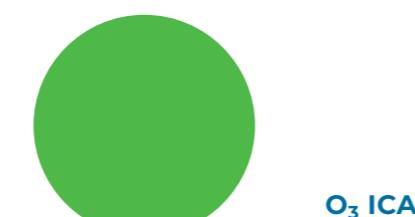
SO₂ Dióxido de azufreConcentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**3 estaciones** tuvieron representatividad temporal.Las estaciones no registraron excedencias al nivel máximo permisible diario -el SO₂ no considera nivel máximo permisible anual-.**El 100 %** de los datos para SO₂ señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.

Índice de la calidad del aire

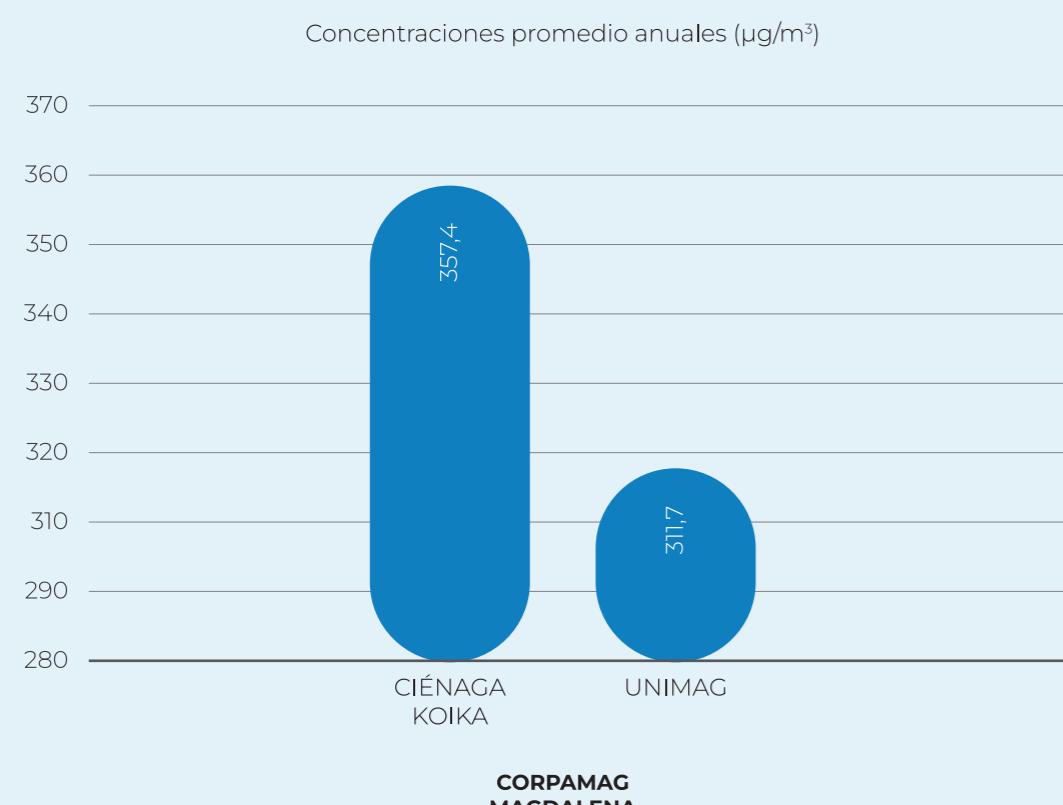
- Buena
- Aceptable
- ICA
- Clasificación

O₃ Ozono troposféricoConcentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**2 estaciones** con representatividad temporal.

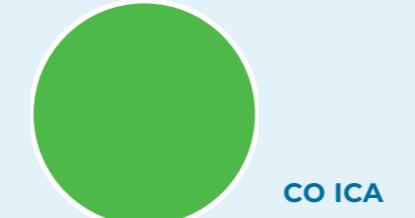
Ninguna estación registró excedencias al nivel máximo permisible octohorario -el O₃ no considera nivel máximo permisible anual-.



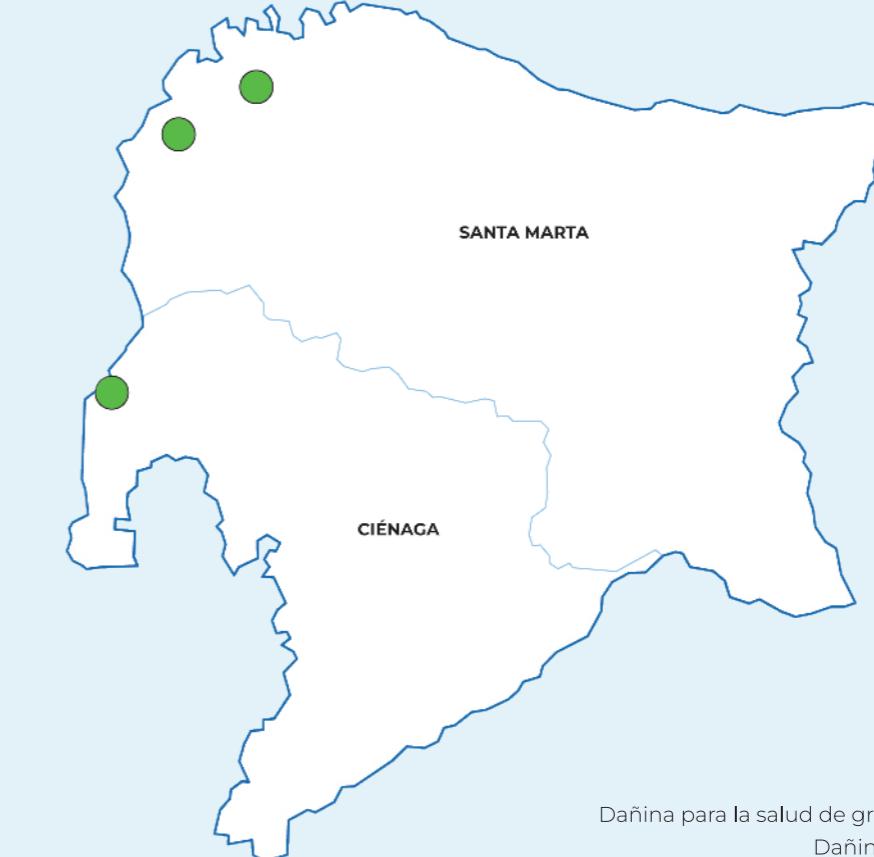
El 100 % de los datos para O₃ señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.

**CO Monóxido de carbono**Concentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**2 estaciones** tuvieron representatividad temporal.

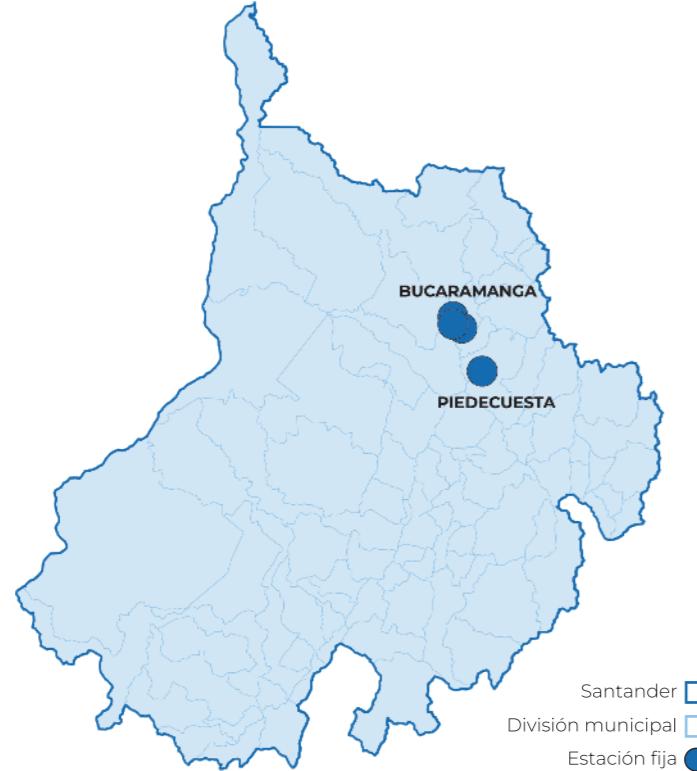
Las estaciones no registraron excedencias al nivel máximo permisible diario -el CO no considera nivel máximo permisible anual-.



El 100 % de los datos para CO señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.



 **Infografía 24.** Estado de la calidad del aire regional - Departamento de Santander



4 estaciones tuvieron representatividad temporal.

100 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual vigente.

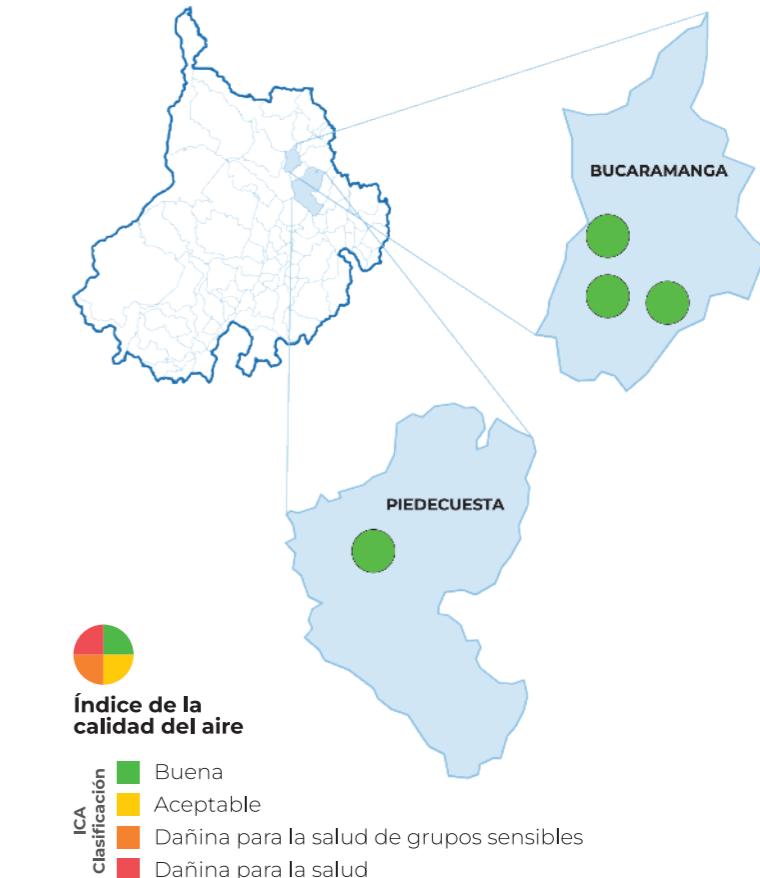
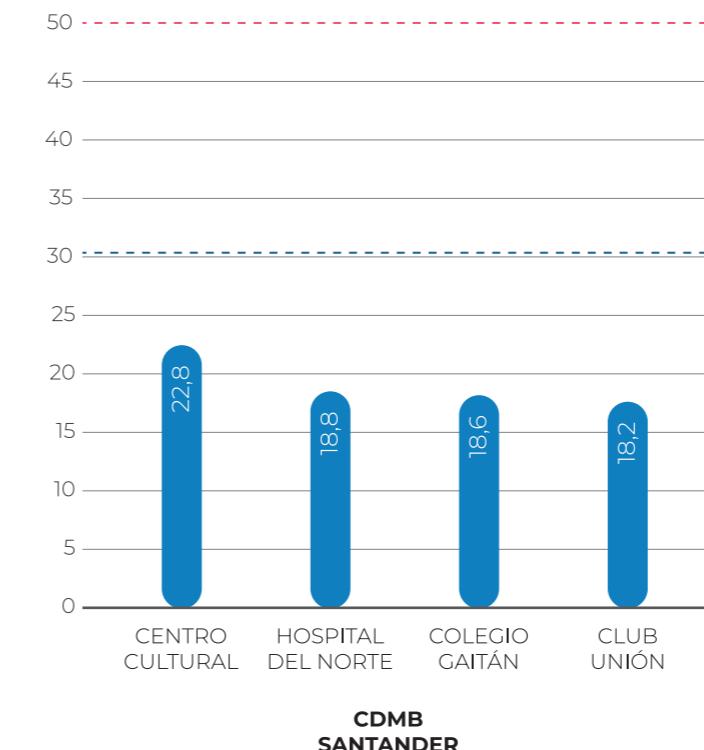
100 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual proyectado a 2030.



El **100 %** de los datos PM₁₀ señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.

PM₁₀ material particulado menor a 10 micras

Concentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



4 estaciones tuvieron representatividad temporal.

100 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual vigente.

100 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual proyectado a 2030.

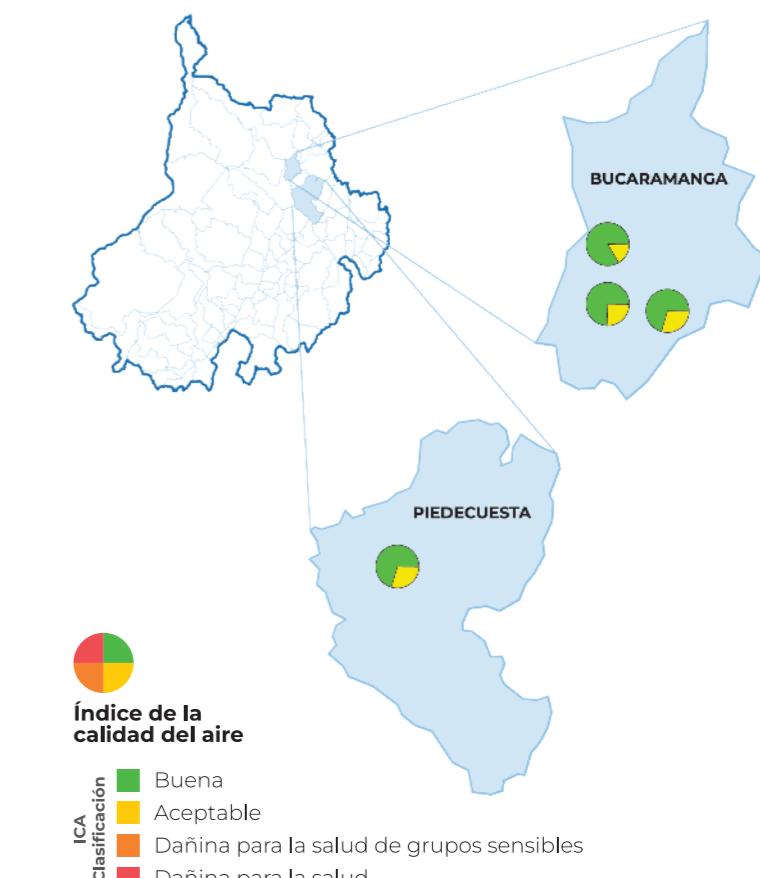
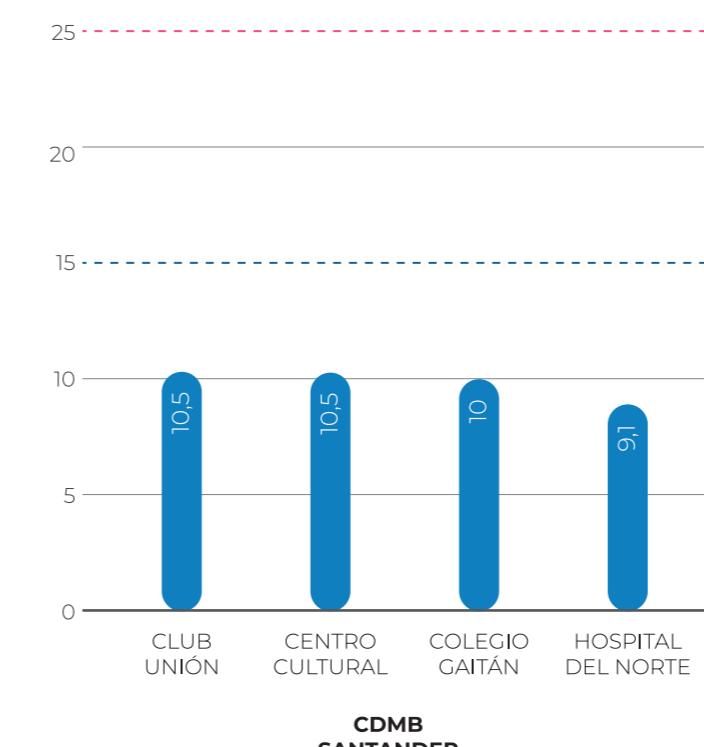


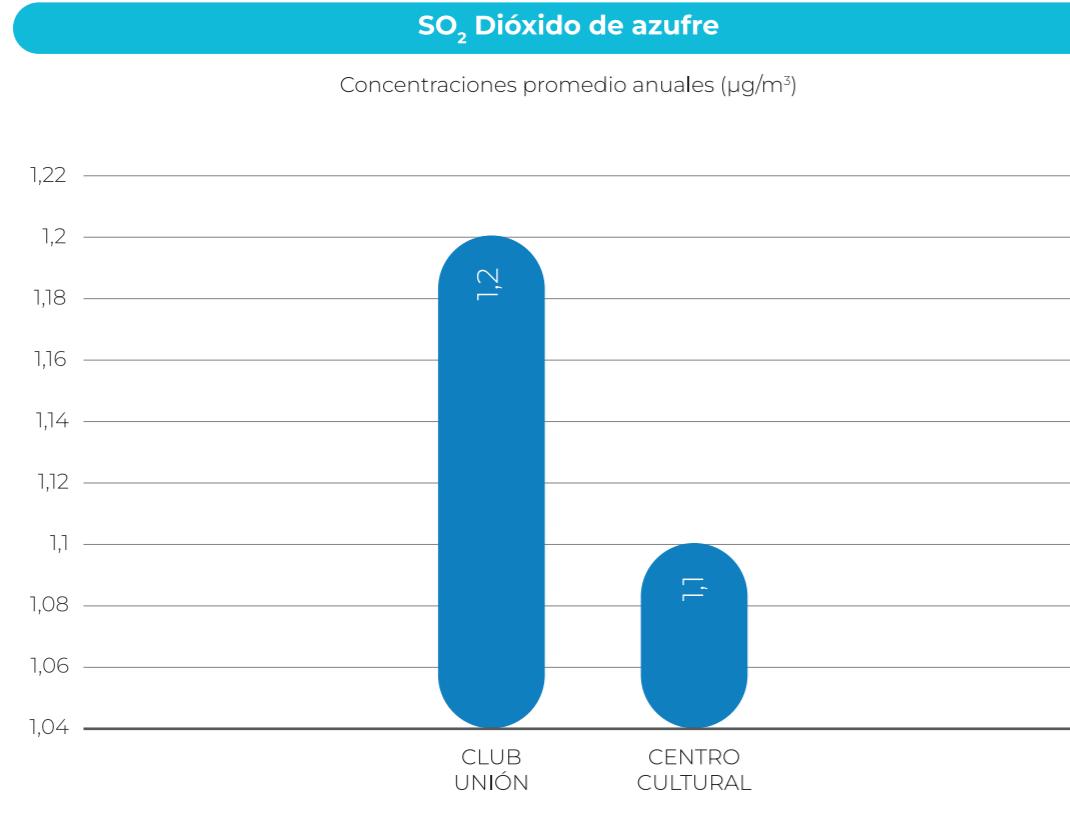
El **75,5 %** de los datos para PM_{2,5} señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.

El **24,5 %** de los datos señaló un estado de la calidad del aire **aceptable**.

PM_{2,5} material particulado menor a 2,5 micras

Concentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



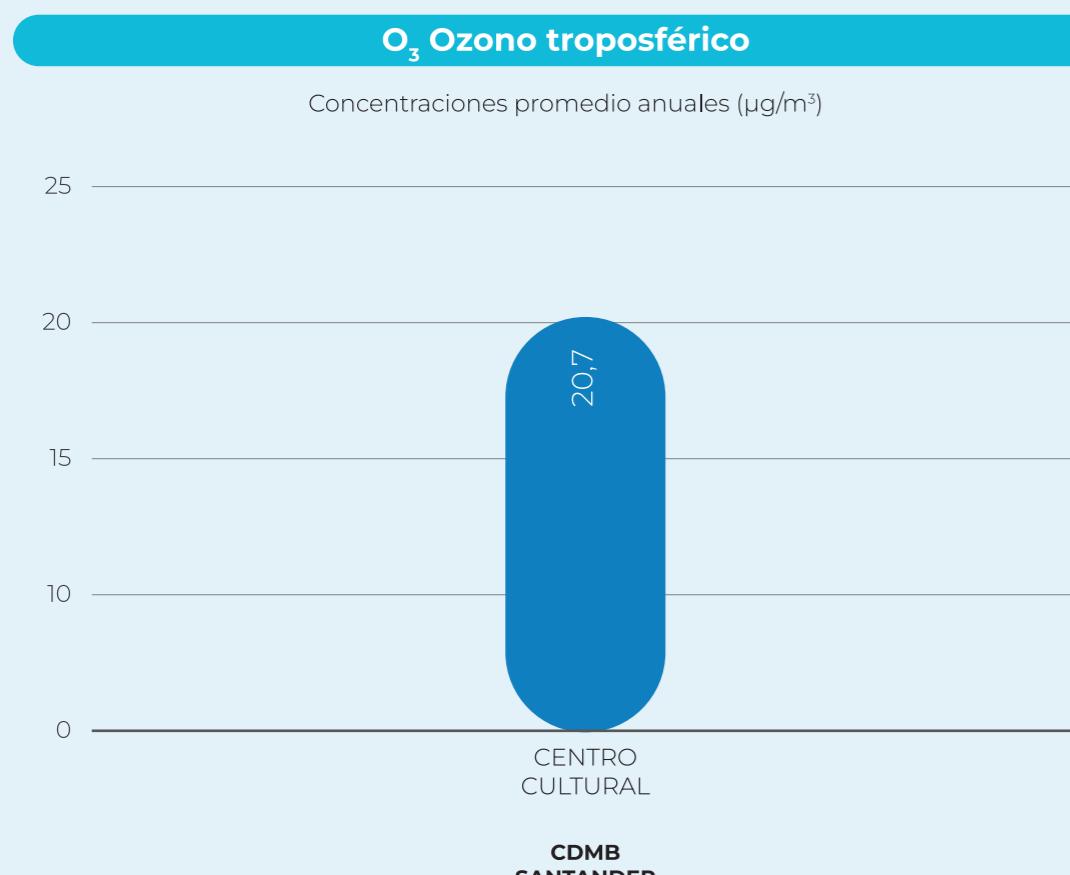


2 estaciones con representatividad temporal.

Ninguna estación registró excedencias al nivel máximo permisible octohorario -el SO₂ no considera nivel máximo permisible anual-.

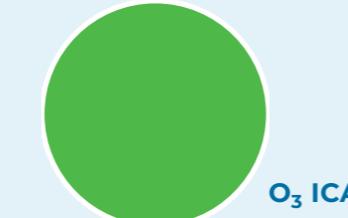


El 100 % de los datos para SO₂ señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.

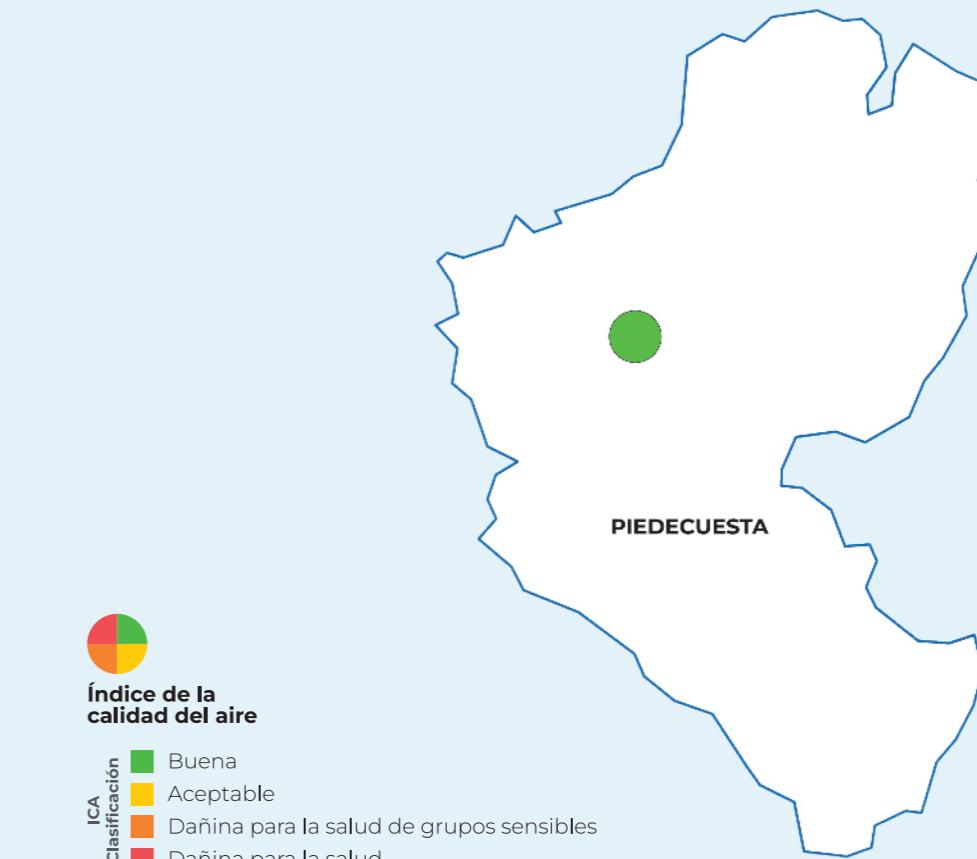


1 estación con representatividad temporal.

Ninguna estación registró excedencias al nivel máximo permisible octohorario -el O₃ no considera nivel máximo permisible anual-.



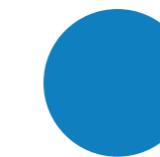
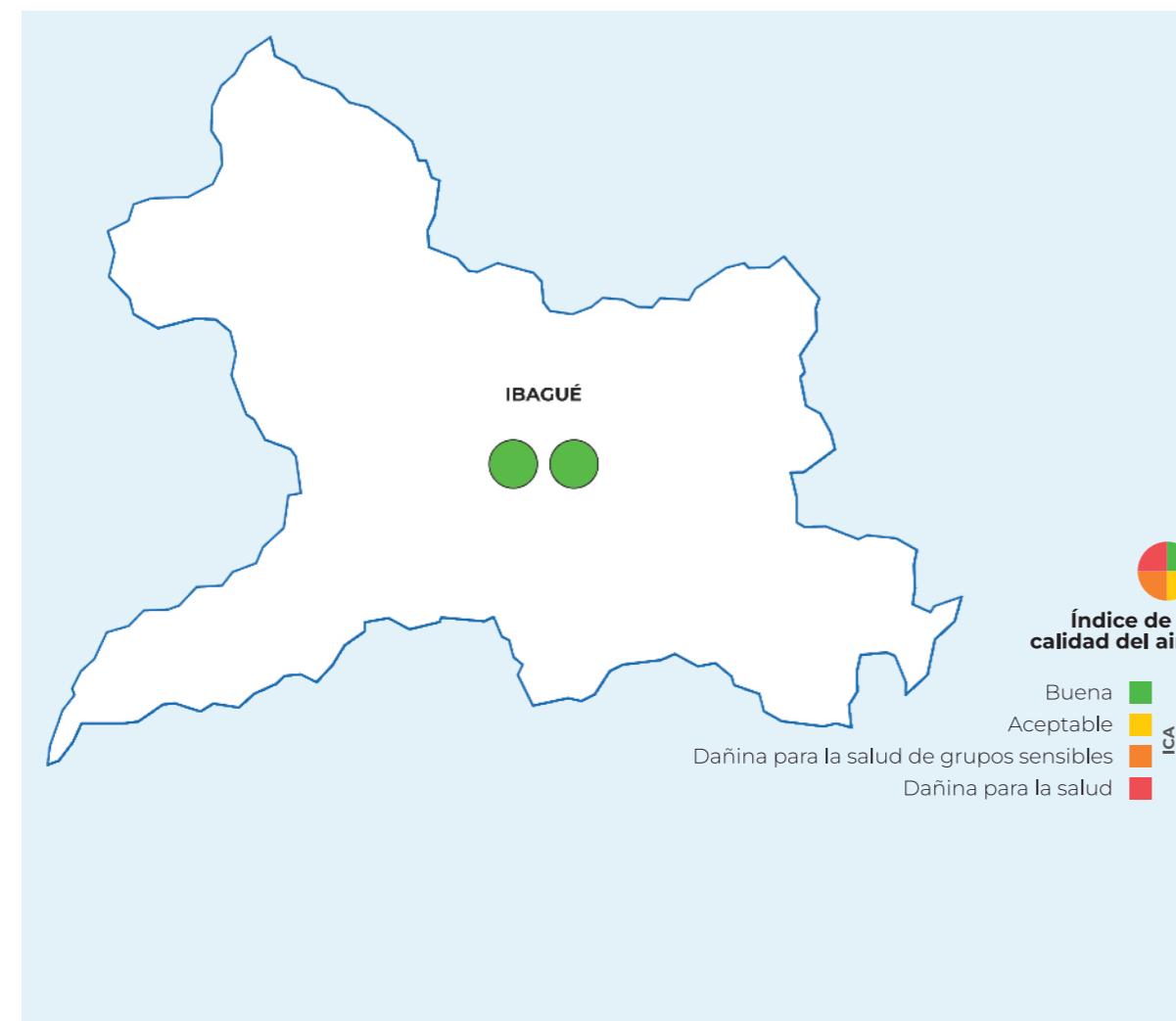
El 100 % de los datos para O₃ señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.



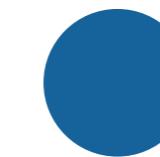
 **Infografía 25.** Estado de la calidad del aire regional - **Departamento del Tolima**



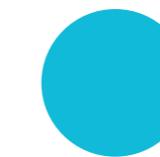
Tolima □
División municipal □
Estación fija ●



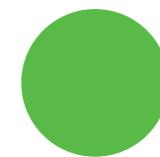
1 SCVA
Corporación Autónoma
Regional del Tolima –
Cortolima-



2 Estaciones fijas
0 Estaciones indicativas



1 Municipio:
IBAGUÉ



PM₁₀ ICA

2 estaciones

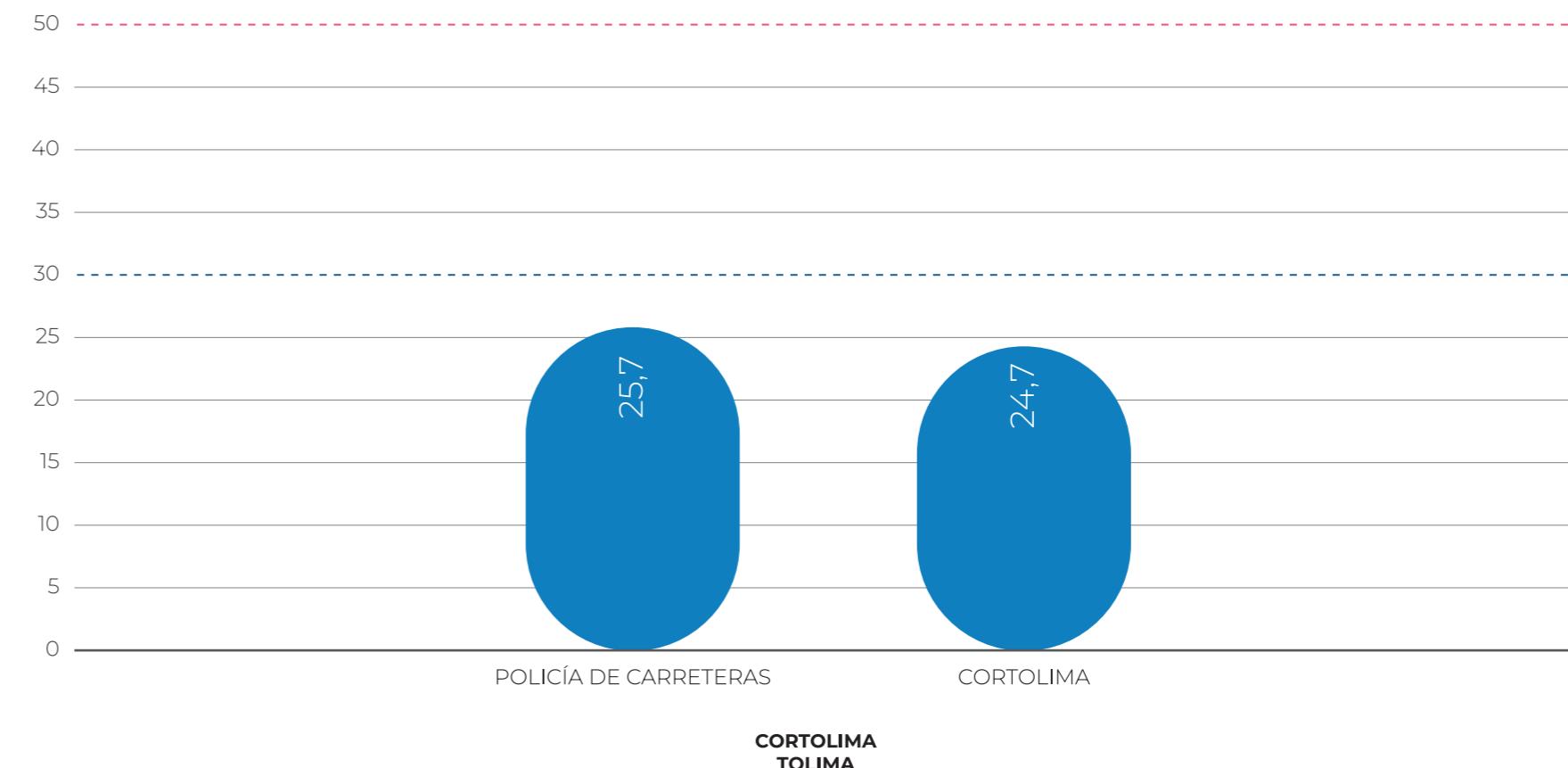
con representatividad temporal.

100 % de las estaciones cumplieron
con el nivel máximo permisible
anual proyectado a 2030.

El 100 % de los datos para PM₁₀ señaló
un estado de la calidad del aire **bueno**.

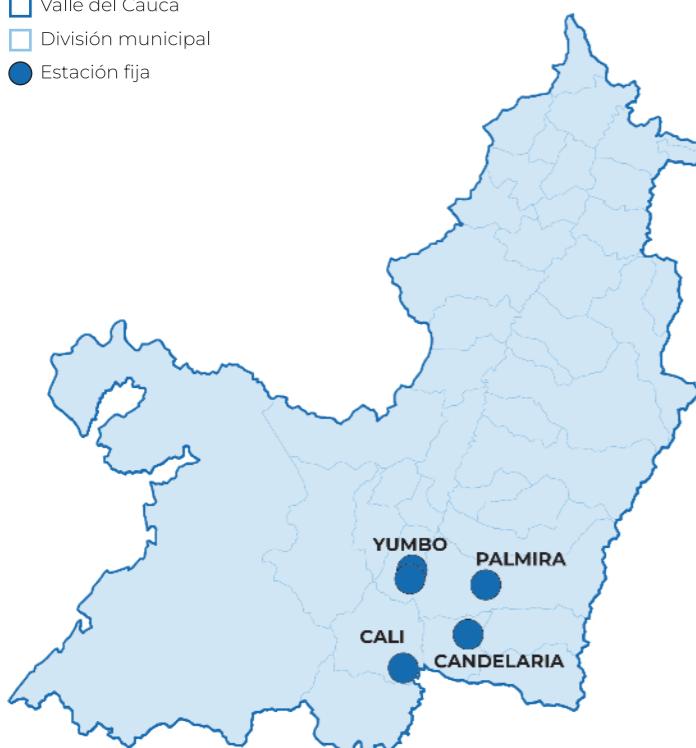
PM₁₀ material particulado menor a 10 micras

Concentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Infografía 26. Estado de la calidad del aire regional - Departamento del Valle del Cauca

■ Valle del Cauca
■ División municipal
● Estación fija



 **9 estaciones:** Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC: 9 estaciones
 **9 estaciones:** Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente de Cali -DAGMA: 9

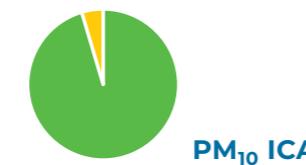
 **18 Estaciones fijas**
 **0 Estaciones indicativas**

 **5 Municipios:**
CALI
CANDELARIA
JAMUNDÍ
PALMIRA
YUMBO

5 estaciones tuvieron representatividad temporal.

100 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual vigente.

60 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual proyectado a 2030.



El **95,6 %** de los datos para PM₁₀ señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.

El **4,3 %** de los datos señaló un estado de la calidad del aire **aceptable**.

5 estaciones tuvieron representatividad temporal.

100 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual vigente.

100 % de las estaciones cumplieron con el nivel máximo permisible anual proyectado a 2030.



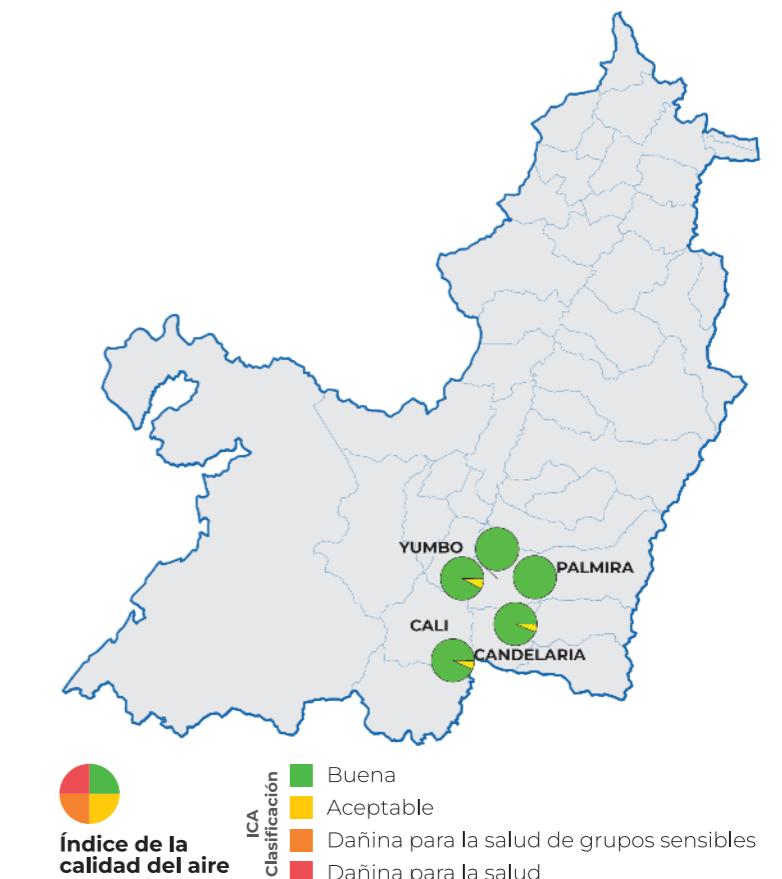
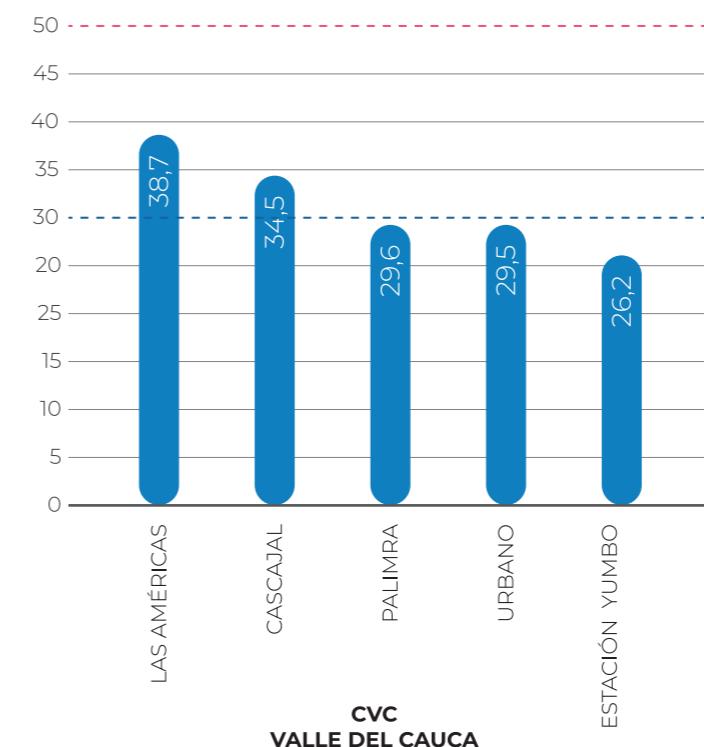
El **68,88 %** de los datos para PM_{2,5} señaló un estado de la calidad del aire **bueno**.

El **31,1 %** de los datos, señaló un estado de la calidad del aire **aceptable**.

El **0,02 %** de los datos señaló un estado de la calidad del aire **dañino para la salud de los grupos sensibles**.

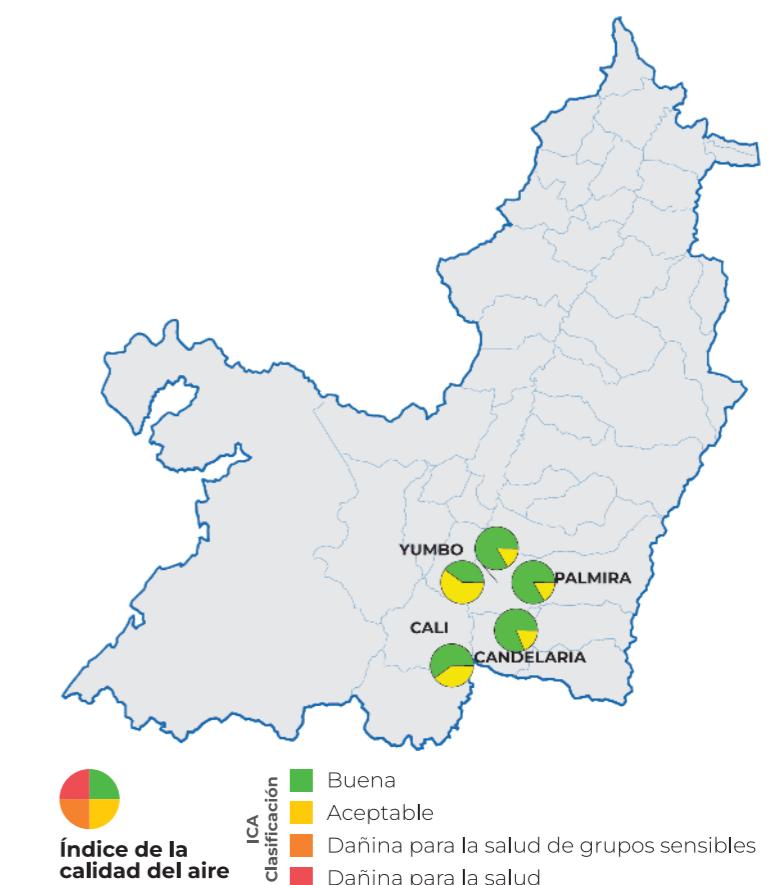
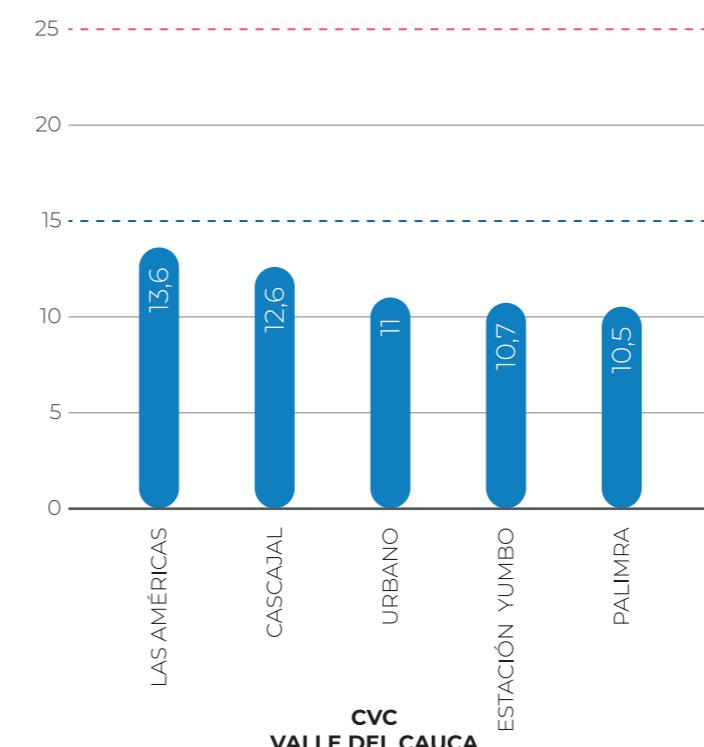
PM₁₀ material particulado menor a 10 micras

Concentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



PM_{2,5} material particulado menor a 2,5 micras

Concentraciones promedio anuales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)





Evaluación de los indicadores de seguimiento

La evaluación de la calidad del aire y el cumplimiento de las normas ambientales actuales (de acuerdo con la resolución 2254 del 1 de noviembre de 2017) se facilita mediante los resultados obtenidos del monitoreo de los contaminantes criterio. Paralelamente, los indicadores de seguimiento orientan la definición y evaluación de programas regionales destinados a prevenir y controlar la contaminación atmosférica. Además, estos indicadores guían la toma de decisiones en relación con la calidad del aire, así como la formulación de diversas estrategias y políticas nacionales.

En Colombia se cuenta con instrumentos y políticas públicas específicas para este propósito, como lo son el Conpes 3918 de 2018 (Estrategia para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible), Conpes 3943 de 2018 (Política para el mejoramiento de la calidad del aire y Estrategia Nacional de Calidad del Aire -ENCA-); estos documentos establecen las directrices y metas para evaluar el estado de la calidad del aire en el país, centrándose especialmente en los niveles de material particulado. Este contaminante es de particular interés debido a que históricamente ha superado con mayor frecuencia los límites máximos permitidos según la resolución 2254 de 2017. Además, se considera que tiene efectos adversos más significativos en la salud y en la calidad de vida del ser humano.



6.1. DESCRIPCIÓN DE LOS INDICADORES DE SEGUIMIENTO

Conpes 3918 de 2018 - Objetivos de Desarrollo Sostenible

Conjuntamente a los avances normativos, desde 2015, Colombia ha decidido adherirse a la Agenda 2030 mediante la adopción de los Objetivos de Desarrollo Sostenible -ODS-. Esta elección se hizo a través de un consenso general, con el objetivo de establecer un marco medible que garantice niveles mínimos para asegurar la prosperidad, el bienestar de las personas y la preservación del medio ambiente. Los 17 ODS y sus 169 metas son integrados e indivisibles, con propósitos para el año 2030, teniendo en cuenta las diversas realidades y capacidades de desarrollo de cada país, respetando sus políticas y prioridades.

A partir de estos objetivos se han propuesto indicadores con el fin de promover la transición de los modelos de desarrollo convencionales hacia una auténtica sostenibilidad. Esto garantiza no solo la preservación de los recursos naturales necesarios para las generaciones actuales, sino también para las futuras. En el contexto de la calidad del aire resulta crucial contar con información que oriente las políticas y estrategias hacia la descontaminación en aquellas zonas donde se evidencia que la exposición de la población a las concentraciones de contaminantes atmosféricos pueda tener efectos adversos en su salud.

Conpes 3943 de 2018 - Política para el mejoramiento de la calidad del aire

El Conpes 3943 de 2018 es un instrumento de seguimiento que aborda la Política para el Mejoramiento de la Calidad del Aire. Este documento establece la imperativa necesidad de mejorar la cobertura, calidad y disponibilidad de la información generada por las autoridades ambientales a través de los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire -SVCA-. Estos sistemas son esenciales para establecer la línea base de la calidad del aire y dar seguimiento a las acciones contempladas en los planes de prevención y reducción de la contaminación.

Este documento de política adopta los indicadores establecidos en el Conpes 3918 de 2018, los cuales están asociados a PM₁₀ y PM_{2,5}. Estos indicadores se detallan a continuación. El objetivo es que para el año 2030 el 70 % de las estaciones de monitoreo de material particulado cumplan con el objetivo intermedio III - OI3 de la Organización Mundial de la Salud -OMS-, que establece los límites de PM₁₀ en 30 µg./m³ y PM_{2,5} en 15 µg./m³. Esto se considera únicamente para las estaciones que cumplen como mínimo con un 75 % de representatividad temporal.

Considerando lo expuesto, el gobierno nacional, a través del Conpes 3918 y el Conpes 3943 de 2018, ha fijado metas y estrategias para mejorar la calidad del aire, buscando así cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible para el año 2030. Específicamente en el ámbito de la calidad del aire las metas de los ODS se detallan en los apartados 3. Salud y bienestar y 11. Ciudades y comunidades sostenibles, de la siguiente manera:



Meta 3.9. "De aquí a 2030, reducir considerablemente el número de muertes y enfermedades causadas por productos químicos peligrosos y por la polución y contaminación del aire, el agua y el suelo".



Meta 11.6. "De aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo".

Estrategia Nacional de Calidad del Aire - ENCA

En el año 2019, el Gobierno Nacional desarrolló la Estrategia Nacional de Calidad del Aire (ENCA), la cual abarca acciones enfocadas en varias áreas, como el fortalecimiento de instrumentos normativos y técnicos para lograr la reducción de emisiones provenientes de diversas fuentes. Asimismo, la estrategia contempla el fortalecimiento del conocimiento técnico y científico, la prevención atención de los estados excepcionales de contaminación atmosférica, la asignación de financiamiento para robustecer la gestión de la calidad del aire, y la gobernanza en materia de calidad del aire.

Estas líneas de la estrategia tienen como objetivo cumplir con las metas establecidas, buscando reducir los niveles de contaminación y mejorar la calidad de vida de los colombianos. En consonancia con el CONPES 3918, el CONPES 3943 de 2018 y la Estrategia Nacional de Calidad del Aire (ENCA) ha establecido como meta para el cuatrienio (hasta 2022) alcanzar el 35 % de estaciones de monitoreo de calidad del aire, cumpliendo con el Objetivo Intermedio III de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para PM_{2,5} y PM₁₀. En concordancia con lo expuesto anteriormente, se lleva a cabo el seguimiento de los indicadores de calidad del aire, tal como han sido definidos en los instrumentos mencionados. El propósito de este seguimiento es evaluar el grado de cumplimiento de dichos indicadores a lo largo del período comprendido entre 2018 y 2022.

Tal como se muestra en la Tabla 4, los instrumentos que definen los indicadores se sustentan en el mismo principio de evaluación basado en estaciones. Esto se centra en aquellas estaciones que presentan concentraciones inferiores al objetivo intermedio III de la OMS para PM₁₀ y PM_{2,5}. Además, estas estaciones deben cumplir con el criterio de representatividad temporal de mínimo el 75 % de los datos válidos, de acuerdo con el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire.

Igualmente, es importante aclarar que, debido a los procesos de aseguramiento de la calidad de la información adelantados por el Ideam, entidad fuente de la información para el reporte del indicador, los valores presentados para el cumplimiento de los indicadores corresponden a los resultados del monitoreo realizado el año inmediatamente anterior, reportados por las diferentes autoridades ambientales al Subsistema de Información Sobre Calidad del Aire -Sisaire-.

 **Tabla 4.** Consolidado de indicadores nacionales de calidad del aire

 Instrumento	 Indicador	 Criterio	 Contaminantes	 Meta
Estrategia Nacional de Calidad del Aire - ENCA	Porcentaje de estaciones que cumplen con el objetivo intermedio III de la OMS	Estaciones cumpliendo con representatividad temporal mínima (75 % de datos válidos)	PM ₁₀ PM _{2,5}	35 % al 2022
CONPES 3943 de 2018			PM ₁₀ PM _{2,5}	70 % al 2030
CONPES 3918 de 2018	► PM₁₀: 30 µg/m ³ ► PM_{2,5}: 15 µg/m ³			

Fuente: Ideam (2022).

El Objetivo Intermedio 3 –OI3 de las guías de calidad del aire de la OMS- para el PM₁₀ corresponde a 30 µg/m³ y para PM_{2,5} corresponde a 15 µm/m³.

- La Estrategia Nacional de Calidad del Aire -ENCA- fija tanto para PM₁₀ como para PM_{2,5} una meta de cumplimiento de los respectivos OI3 en el 35 % de las estaciones para el año 2022.
- Los Conpes 3918 y 3943 fijan tanto para PM₁₀ como para PM_{2,5} una meta de cumplimiento de los respectivos OI3 en el 70 % de las estaciones para el año 2030.

6.2. RESULTADOS DE LOS INDICADORES DE SEGUIMIENTO

Este indicador de seguimiento mide el porcentaje de estaciones de los Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire operados por las autoridades ambientales regionales y urbanas del país que cumplen con:



El criterio de representatividad temporal de los datos ($\geq 75\%$).



El objetivo intermedio III de las guías de calidad del aire de la OMS:
 PM_{10} ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) | $PM_{2,5}$ ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$)



Metas de seguimiento:

Año 2022: el 35 % de estaciones estarán cumpliendo

Año 2030: alcanzar el 70 % de estaciones cumpliendo



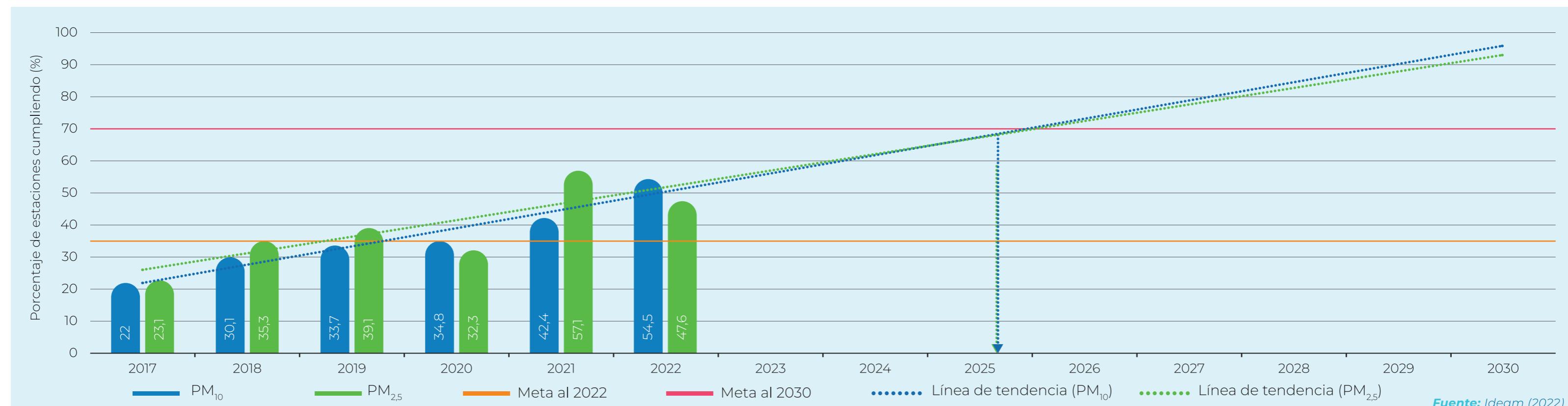
Tabla 5. Evolución del indicador de seguimiento para PM_{10} y $PM_{2,5}$ años 2017-2022

Parámetro	Año	Porcentaje de cumplimiento	Número de estaciones
PM_{10}	2017	22	18
	2018	30,1	22
	2019	33,7	28
	2020	34,8	24
	2021	42,4	39
	2022	54,5	55
$PM_{2,5}$	2017	23,1	6
	2018	35,3	18
	2019	39,1	18
	2020	32,3	21
	2021	57,1	40
	2022	47,6	40

Fuente: Ideam (2022).



Figura 49. Seguimiento del cumplimiento del objetivo intermedio 3 de la OMS para PM_{10} y $PM_{2,5}$ años 2017-2022



Fuente: Ideam (2022).

La Tabla 5 presenta el comportamiento histórico del indicador de seguimiento al cumplimiento del objetivo intermedio 3 recomendado por la OMS, en el periodo comprendido entre los años 2017 y 2022, que en su primer año de seguimiento (2017) tuvo como línea base para el material particulado menor a 2,5 micras un 23,1 % de estaciones cumpliendo y para material particulado menor a 10 micras un 22 % de estaciones ajustándose a los valores de referencia correspondientes ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $\text{PM}_{2.5}$ y $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} respectivamente).

De acuerdo con los resultados de la tabla 7 se advierte que para el material particulado se presentaron diferentes tipos de variación en el porcentaje de estaciones cumpliendo con el objetivo intermedio 3, teniendo en cuenta que para el año 2022 el PM_{10} presentó un incremento de 12,1 % y el $\text{PM}_{2.5}$ presentó una disminución de aproximadamente 9,5 % respecto con los porcentajes obtenidos para cada uno de estos contaminantes en la vigencia inmediatamente anterior.

Uno de los factores que influyó en este comportamiento fue la variación en el número de estaciones que cumplieron la meta y el número de estaciones con representatividad temporal para cada contaminante criterio. En el caso del PM_{10} se incrementaron tanto el número de estaciones que cumplieron el objetivo intermedio 3 de la OMS como el número de estaciones con representatividad, siendo el primero más significativo que el segundo respecto al año 2021; mientras que en el caso de $\text{PM}_{2.5}$ no varió el número de estaciones que cumplieron el objetivo intermedio 3 de la OMS pero sí se incrementó el número de estaciones con representatividad temporal, de manera que la relación impactó de manera negativa al indicador en este caso.

Según las líneas de proyección expuestas en la Figura 39, a pesar de las variaciones multianuales persiste un comportamiento de crecimiento paulatino en el porcentaje de estaciones de PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ que cumplen con el 75 % de representatividad temporal y el objetivo intermedio 3 de la OMS; por tal motivo, es probable que las metas de los Conpes 3918 y 3943 del 70 % de estaciones de PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ que cumplan los criterios anteriormente descritos al 2030 se lleguen a lograr anticipadamente, tanto para el $\text{PM}_{2.5}$ como para el PM_{10} en el año 2026. Adicionalmente, es importante mencionar que tanto para el PM_{10} y el $\text{PM}_{2.5}$ se superaron las metas de impacto de la Estrategia Nacional de Calidad del Aire (del 35 % de estaciones de monitoreo de calidad del aire cumpliendo con el objetivo 3 de la OMS al año 2022), con un 54,5 % para el PM_{10} y 47,6 % para el $\text{PM}_{2.5}$.

En el año 2022, se presentó un comportamiento variado entre el PM_{10} y el $\text{PM}_{2.5}$ respecto al cumplimiento de las metas de impacto de la Estrategia

Nacional de Calidad del Aire para el año 2022. En el capítulo 10 se presentan la Figura 43 y la Figura 44, en las cuales se observa la variación porcentual de las concentraciones promedio anuales de PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ obtenidas para el año 2022 en comparación con el año inmediatamente anterior; se puede ver que para PM_{10} se presentó una variación porcentual de concentraciones en promedio de +3,3 % y para $\text{PM}_{2.5}$ de +8,7 %, respecto a la vigencia 2021, lo cual puede deberse a que el año 2022 fue el primero después de la pandemia del COVID-19 con un retorno a los niveles de actividad económica y social hacia los registrados en años anteriores al 2020, esto pudo influenciar un aumento generalizado en las concentraciones de PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$.

Un factor que jugó un papel importante para que, a pesar del incremento generalizado en las concentraciones promedio anuales de PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$, se siguieran cumpliendo las metas de impacto de la Estrategia Nacional de Calidad del Aire para el año 2022 de estos dos contaminantes criterio durante el mismo año fue el comportamiento meteorológico a nivel nacional. Para el año 2022, se presentó un predominio de las condiciones del fenómeno de La Niña en todos los meses, además de registrarse mayores precipitaciones en casi todo el territorio nacional, frente a lo registrado en el año 2021. Las condiciones anteriormente mencionadas pueden haber favorecido la dispersión y deposición de los contaminantes criterio como el material particulado.

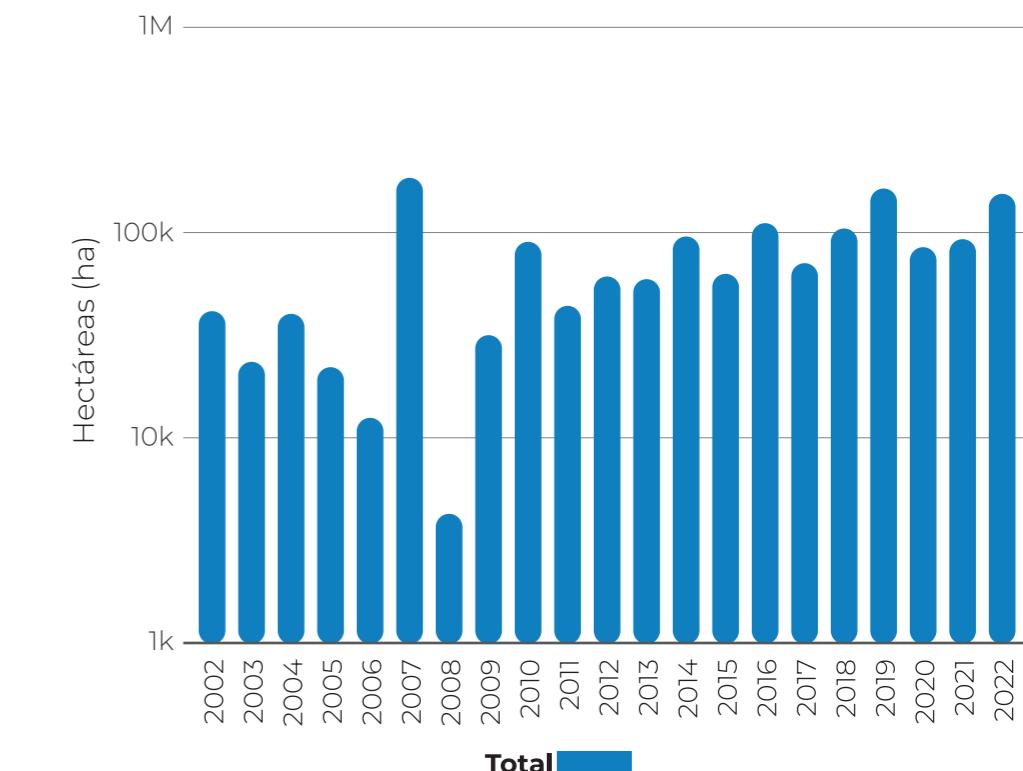
Aparte de los factores meteorológicos como la precipitación, la temperatura, la velocidad y dirección de los vientos, los incendios de la cobertura vegetal hacen parte de las condiciones que influyen la calidad del aire a nivel local o regional.

De acuerdo con el indicador de variación de la superficie de cobertura vegetal afectada por incendios, publicado periódicamente por el Ideam y que corresponde a la diferencia entre la superficie de cobertura vegetal afectada por incendios en dos años consecutivos, en el año 2022 esta categoría llegó a las 156,164,48 hectáreas, una cifra mayor a las 96,188,07 hectáreas registradas durante el año 2021, lo cual significó un incremento del 62,35 % (Ideam, 2023). Estas cifras alcanzaron niveles comparables con el año 2019, como se puede observar en la figura 50. El incremento de este indicador en el año 2022 frente al año 2021 puede haber contribuido al aumento de la variación de concentraciones de PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$; sin embargo, las condiciones predominantes del fenómeno de La Niña en el territorio nacional jugaron un papel importante en que este incremento no fuera mayor.

Otro aspecto relevante a resaltar en la vigencia 2022 está relacionado con los esfuerzos técnicos, económicos y humanos realizados por diferentes

 **Figura 50.** Indicador de variación de la superficie de cobertura vegetal afectada por incendios, años 2002-2022¹

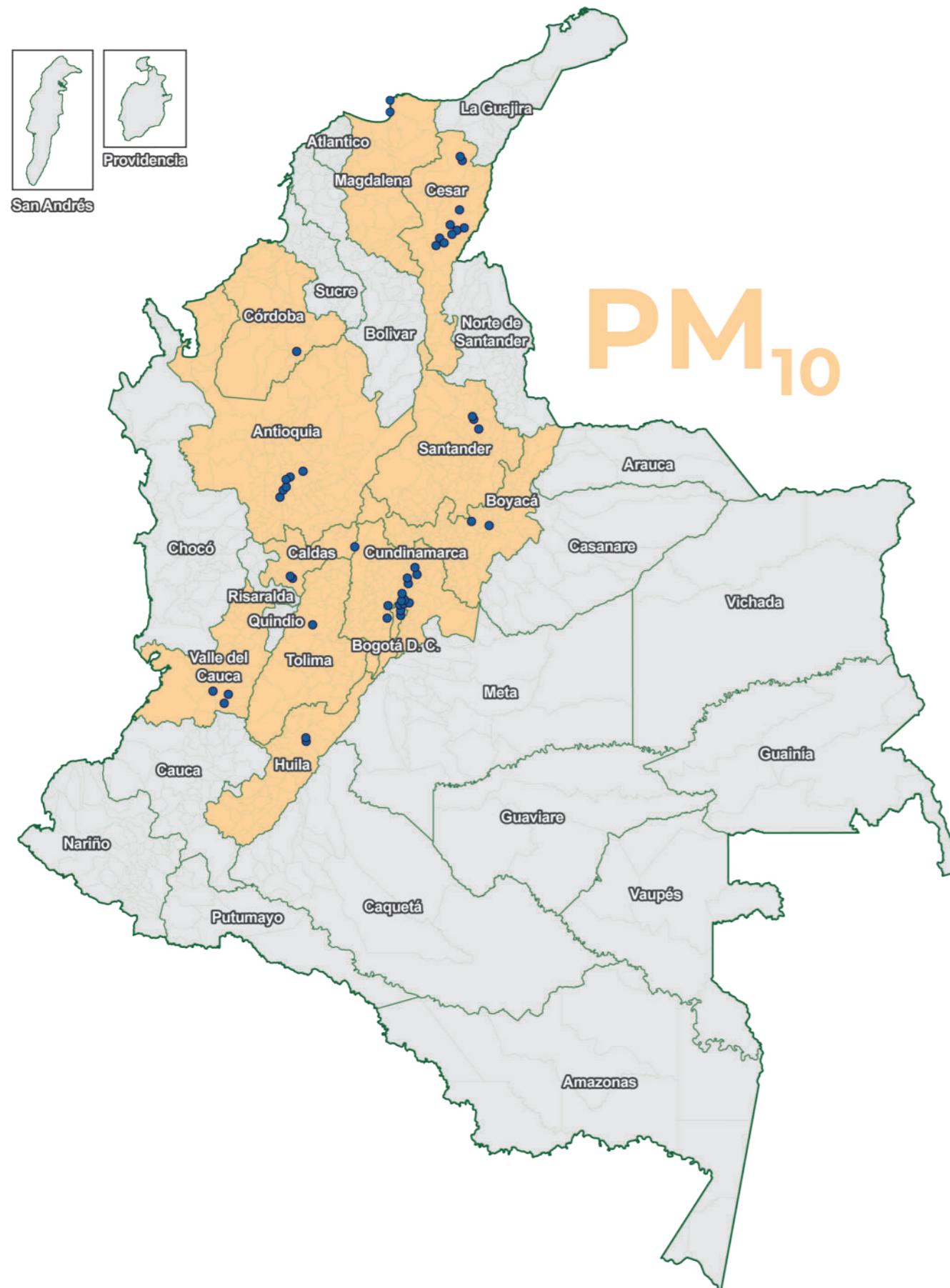
Superficie de cobertura Vegetal Afectada por Incendios



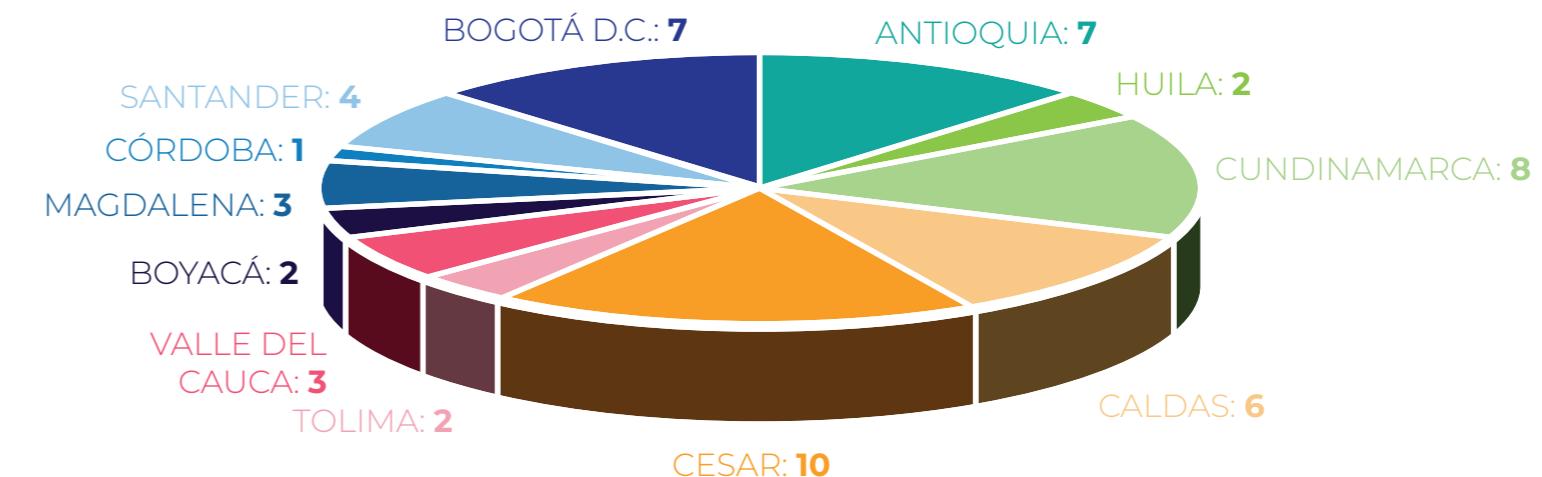
Fuente: Ideam (2022).

autoridades ambientales en sus diferentes jurisdicciones para fortalecer sus sistemas de vigilancia de calidad del aire, logrando incrementos del 9 y 14 % en el número de estaciones con representatividad temporal mayor 75 %, para el PM_{10} y el $\text{PM}_{2.5}$ respectivamente. Sin embargo, se debe mencionar que aunque se alcanzó la meta del 35 % de estaciones cumpliendo con el objetivo intermedio 3 de la OMS, algunos de los centros urbanos podrían haber aumentado la proporción de estaciones que no cumplían con este objetivo a nivel local, por tal motivo el fortalecimiento de dichos sistemas y el aumento de representatividad temporal podría impactar negativamente el indicador a futuro.

Para el año 2022, se destaca la aparición de las estaciones de CDMB, la CVS y EPA Cartagena entre las que aportan al cumplimiento del objetivo intermedio 3 de la OMS con respecto al 2021. En las Infografías 27 y 28 se presenta respectivamente PM_{10} y el $\text{PM}_{2.5}$, la ubicación geográfica y el listado de las estaciones de monitoreo que para el año 2022 cumplieron con respecto al objetivo intermedio 3 de las guías de calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud. Así mismo, se muestra el número de estaciones que cumplió por departamento.

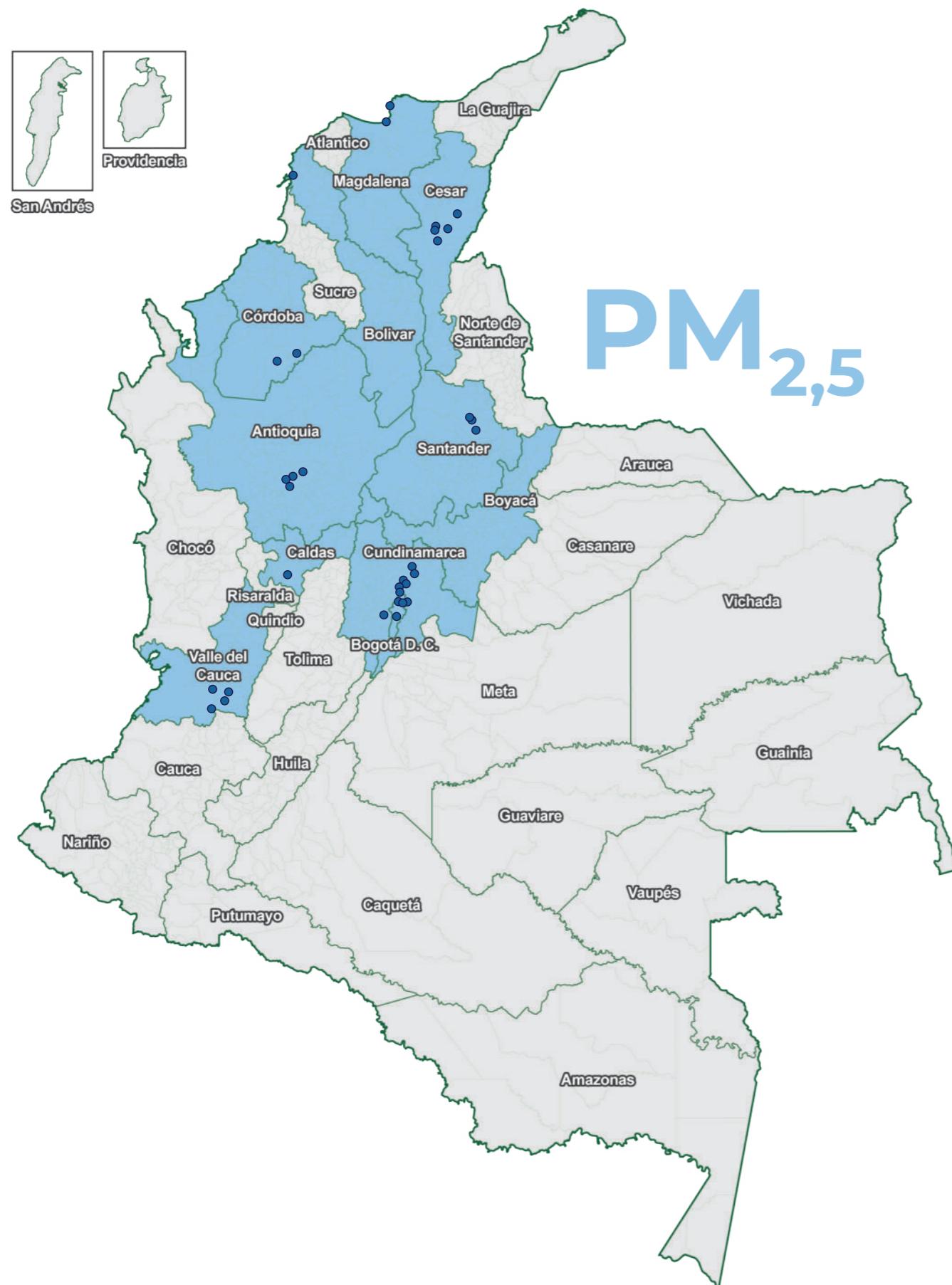


Infografía 27. Estaciones de monitoreo de PM₁₀ que cumplieron con el objetivo intermedio 3 de las guías de calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud, año 2022

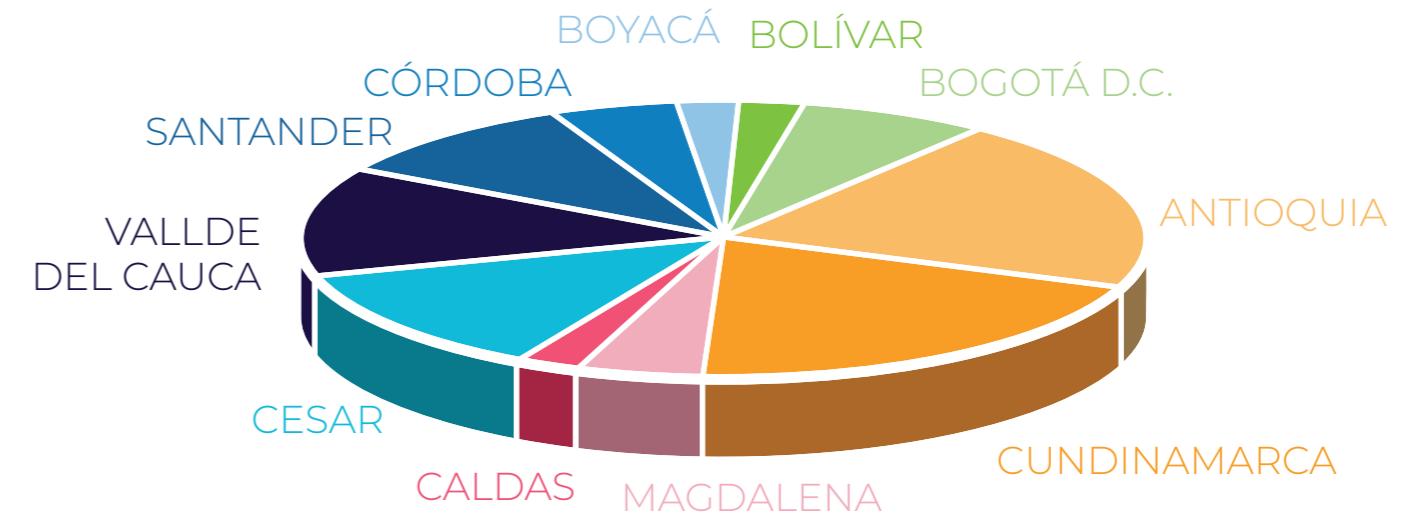


Departamento	SVCA	Estaciones que cumplieron	No. estaciones
ANTIOQUIA	AMVA	Hospital S.V. Paul, Tanque Miraflores, Hospital Sta. Marg., Escuela Joaquín A., Planta Tratamiento, Corantioquia, U. San Buenaventura	7
HUILA	CAM	Alcaldía, CAM Norte	2
CUNDINAMARCA	CAR	Urbano Nemocón, Chía – Urbano, Estación Tausa, Alcaldía, Los Sauces, Sena, Planta Tibitoc, Ptar I	8
SANTANDER	CDMB	Club Unión, Colegio Gaitán, Hospital del Norte	3
BOYACÁ	Corpoboyacá	Estación Paipa, El Recreo	2
CALDAS	Corpocaldas	Estación La Dorada, Estación La Nubia, Estación Palogrande, Católica (UCM), Gobernación, Liceo Isabel La Católica	6
CESAR	Corpocezar	Rincón Hondo, Seminario, La Aurora, La Victoria, Cascará, La Palmita, Boquerón, La Jagua Centro, Bomberos, Estación Chiriguaná	10
MAGDALENA	Corpamag	Don Jaca, Alcatraces, Pescaíto	3
TOLIMA	Cortolima	Cortolima, Policía de Carreteras	2
VALLE DEL CAUCA	CVC	Estación Yumbo, Urbano, Palmira	3
CÓRDOBA	CVS	Estación Montelíbano	1
BOGOTÁ, D. C.	SDA	C. Alto Rendimiento, Guaymaral, Las Ferias, Minambiente, San Cristóbal, Suba	6

Fuente: Ideam (2022).

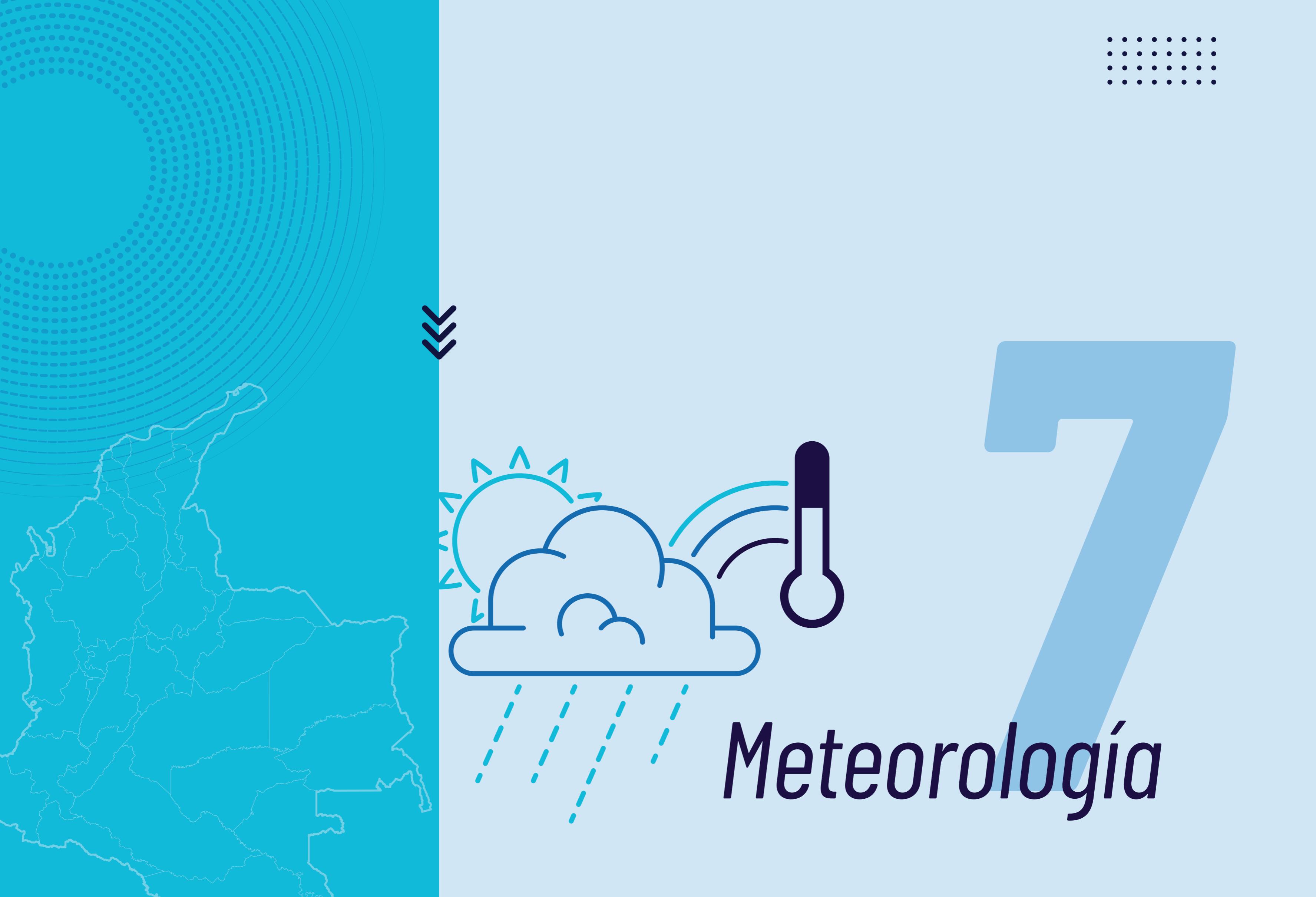


 **Infografía 28.** Estaciones de monitoreo de PM_{2.5} que cumplieron con el objetivo intermedio 3 de las guías de calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud, año 2022



Departamento	SVCA	Estaciones que cumplieron	No. estaciones
ANTIOQUIA	AMVA	Santa Elena, Torre Social, Tanques EPM, Ciudadela Educativa, Liceo Fernando Vélez, I.E. Jorge Eliecer G.	8
	Corantioquia	EIA, IGLE	
CUNDINAMARCA	CAR	Urbano Nemocón, Chía -Urbano, Emafez, Alcaldía, Soacha - UDPG, Estación Tausa, Planta Tibitoc, Cajicá UMNG	8
MAGDALENA	Corpamag	Unimag, Ciénaga Koika	2
CALDAS	Corpocaldas	Gobernación	1
CESAR	CorpoCESAR	La Aurora, Boquerón, La Loma 2, Casacará, El Hatillo	5
VALLE DEL CAUCA	CVC	Palmira, Estación Yumbo, Urbano, Cascajal, Las Américas,	5
SANTANDER	CDMB	Hospital del Norte, Colegio Gaitán, Club Unión, Centro Cultural	4
CÓRDOBA	CVS	Estación Montelíbano, Estación Puerto Libertador CVS	2
BOYACÁ	Corpoboyacá	Nazareth-JAC	1
BOLÍVAR	EPA Cartagena	Cartagena - ZF La Candelaria	1
BOGOTÁ, D. C.	SDA	Colina, Usaquén, Usme	3

Fuente: Ideam (2022).



Meteorología

La atmósfera es el medio en el que se liberan los contaminantes y que, de acuerdo con los parámetros meteorológicos, así como de otros factores como las variaciones globales y regionales del clima y las condiciones topográficas locales, pueden influenciar el transporte y dispersión de los mismos.

En una escala continental las variaciones del clima influyen sobre el movimiento de los contaminantes. Por ejemplo, la dirección predominante de los vientos en Centroamérica y norte de Sudamérica es del este al oeste, y en Norteamérica y sur de Sudamérica es de oeste a este. En un nivel más local, los principales factores del transporte y dispersión son el viento y la estabilidad. La dispersión de contaminantes de una fuente depende de la cantidad de turbulencia en la atmósfera cercana (Inche, 2004).

Las emisiones de contaminantes, así como los fenómenos de transporte y de dispersión de estos, se producen en la capa más baja de la troposfera, que se denomina "capa límite planetaria". Esta capa tiene un espesor comprendido entre varios cientos de metros hasta 1 km, y está directamente influenciada por las características de la superficie terrestre (Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz, 2003). Es por ello que, para realizar actividades relativas al control de emisiones atmosféricas y ejercicios de modelización, es imprescindible comprender los factores meteorológicos que inciden, los cuales se describen a continuación.

Fuente: (Inche, Capítulo 7. Transporte y dispersión de contaminantes del aire, 2004). (Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz, 2003). Ideam.

VIENTO

- El viento es el aire en movimiento. Es la corriente de aire que se produce en la atmósfera por causas naturales, por la ocurrencia de diferentes presiones en áreas distintas. Se representa por un vector que puede ser descompuesto en una componente horizontal y otra vertical. Siendo el viento una magnitud vectorial, está caracterizada por tener velocidad (determina la fuerza del vector) y dirección (de donde sopla el viento).
- La velocidad del viento puede afectar en gran medida la concentración de contaminantes en un área.
- Mientras mayor sea la velocidad del viento, menor será la concentración de contaminantes.
- El viento diluye y dispersa rápidamente los contaminantes en el área circundante. Con lo cual una ausencia de viento contribuye a la acumulación de los contaminantes cerca de las fuentes.
- El viento es el principal agente meteorológico que determina las condiciones de dispersión de los contaminantes. Sus características de velocidad y dirección son importantes para determinar lo que se denomina área de dispersión o alcance.
- Contribuye a la propagación de los incendios forestales y también determina la velocidad y dirección de propagación del fuego. Puede generar focos secundarios. Favorece la desecación del combustible, aumenta la intensidad del incendio al aportar oxígeno, e incrementa la velocidad de propagación.

RADIACIÓN SOLAR

- Contribuye a la formación de ozono troposférico y otros contaminantes secundarios que se originan en presencia de luz solar por reacciones fotoquímicas.
- Influye en la formación del ozono, debido a que permite la reacción de compuestos orgánicos con los óxidos de nitrógeno.
- Favorece la generación de incendios forestales.

ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA

- El movimiento vertical de la atmósfera es conocido como "estabilidad atmosférica", también afecta el transporte y dispersión de los contaminantes del aire.
- Las condiciones atmosféricas inestables producen la mezcla vertical.
- Generalmente, durante el día el aire cerca de la superficie de la tierra es más caliente y liviano que el aire en la atmósfera superior. El aire caliente y liviano de la superficie sube y se mezcla con el aire frío y pesado de la atmósfera superior que tiende a bajar.
- Este movimiento constante del aire crea condiciones inestables y dispersa el aire contaminado.
- Cuando el aire más caliente está por encima del aire frío se presentan condiciones atmosféricas estables, de ese modo se inhibe la mezcla vertical. Esta condición se denomina inversión térmica. Cuando hay una ligera mezcla vertical o no hay mezcla, los contaminantes permanecen en la zona baja y tienden a aparecer en concentraciones mayores.

PRECIPITACIÓN

- Permite un efecto beneficioso porque remueve las partículas contaminantes del aire y ayuda a minimizar las partículas provenientes de actividades como la contrucción y algunos procesos industriales.
- Favorece o hace más eficientes los procesos de lavado y eliminación de contaminantes del aire, principalmente de contaminantes particulados.
- En épocas de mayor precipitación existe una mayor eliminación de partículas en suspensión, y así mismo existe un mayor arrastre.
- Mientras persisten los periodos de sequía, esto favorece la resuspensión de partículas depositadas, lo que hace menos eficiente la eliminación de contaminantes particulados.

TURBULENCIA

- La turbulencia es la irregularidad del movimiento del viento y se caracteriza por el cruce de las trayectorias de las masas de aire, y por la superposición de una fluctuación irregular, aleatoria y no reproducible de la circulación media del viento.
- La dispersión de tipo torbellino es el proceso de mezcla más importante en las capas bajas de la troposfera y aumenta el efecto de dispersión y dilución de los contaminantes.

TEMPERATURA (GRADIENTE DE TEMPERATURA)

- Los movimientos de masas de aire se deben a las diferencias de densidades entre ellas, y las densidades a su vez están influenciadas por la temperatura de las masas. El gradiente de temperatura condiciona de esta manera el movimiento (o su ausencia) ascendente o descendente de una capa.
- Si la temperatura aumenta bruscamente, la atmósfera se vuelve inestable, lo que facilita la dispersión de los contaminantes. Por el contrario, la estabilidad atmosférica en la capa de aire favorece la aparición del fenómeno llamado inversión térmica.
- La inversión térmica es una condición atmosférica causada por una interrupción del perfil normal de la temperatura de la atmósfera. La inversión térmica puede retener el ascenso y dispersión de los contaminantes de las capas más bajas de la atmósfera y causar un problema localizado de contaminación del aire. Cuando se emiten contaminantes al aire en esas condiciones, se acumulan debido a que los fenómenos de transporte y difusión ocurren demasiado lento.
- Favorece la generación y propagación de incendios. A mayor temperatura corresponde normalmente menor humedad relativa, y como consecuencia, la humedad en los combustibles también disminuye, ya que está altamente relacionado con la disponibilidad para la combustión.

7.1. COMPORTAMIENTO DE LOS INDICADORES CLIMATOLÓGICOS

7.1.1. COMPORTAMIENTO DE LA ANOMALÍA ANUAL DE LA TEMPERATURA MEDIA

La temperatura del aire hace referencia a la medida del estado térmico del aire con respecto a su habilidad de comunicar calor a su alrededor. La temperatura del aire en superficie es la temperatura leída en un termómetro expuesto al aire en una garita o caseta meteorológica, que permite la existencia de una buena ventilación y evita los efectos de la radiación solar directa sobre el termómetro, a una altura comprendida entre 1,25 y 2 metros sobre el nivel del suelo. Por otro lado, la temperatura media corresponde al promedio de las temperaturas observadas en el curso de un intervalo de tiempo determinado (hora, día, mes, año, década, etc.).

En climatología se utilizan los valores promedios (normales climatológicas) para definir y comparar el clima, permitiendo predecir las condiciones más probables que se pueden producir en un futuro próximo, de una ubicación determinada en el marco del clima actual y, en segundo lugar, constituyen una referencia estable con la que se pueden comparar las condiciones climáticas en una ubicación concreta (o en una región determinada), en un período de tiempo específico o para comparar cambios a largo plazo en las observaciones climáticas (OMM, 2017). Por otro lado, el término anomalía climática es usado para describir la diferencia entre el valor del elemento climático en un período de tiempo determinado, con

respecto al valor medio histórico de la variable climática correspondiente (normal climatológica), durante el mismo lapso, en un lugar dado.

En este caso, el Índice de la Anomalía Anual o Mensual de la Temperatura Media permite determinar la fluctuación por encima y por debajo de lo normal del comportamiento del régimen de temperatura de un año o mes específico, respecto al valor promedio (normal). El promedio del período de referencia (Normal Climatológica Estándar) es de 30 años y el utilizado para este análisis corresponde al período 1981 – 2010.

Como se observa la figura 51, durante el año 2022, en gran parte del territorio nacional se presentaron anomalías de la temperatura media en el rango de la normalidad, esto es entre +0,5°C y -0,5°C, a pesar de que predominó la fase de La Niña del ciclo ENSO (El Niño – Oscilación del Sur) durante todo el año (reportado por el ONI y asociado a valores negativos de este indicador por debajo de -0,5 en el área de seguimiento al ciclo ENSO en el Pacífico ecuatorial).

En la Tabla 6 se muestra el comportamiento del índice oceánico de El Niño - ONI durante el año 2022.

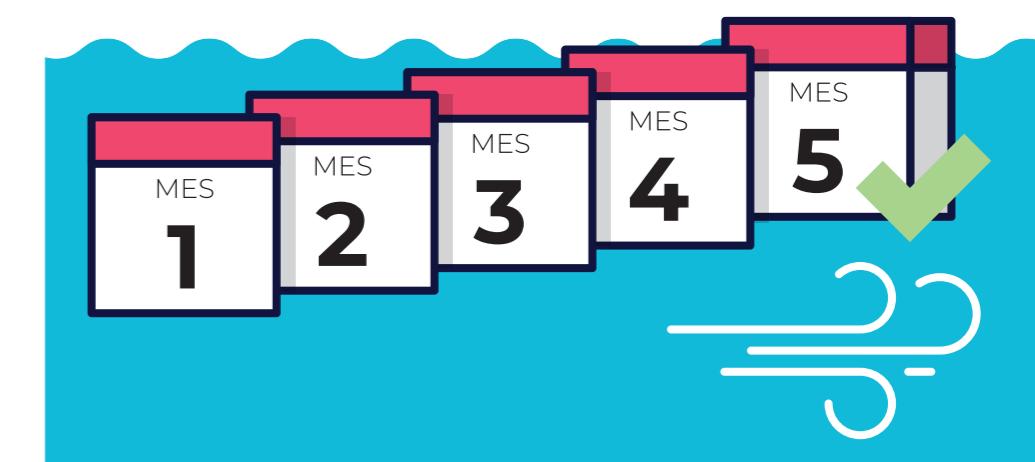
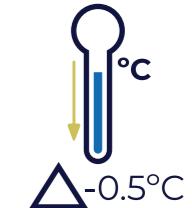
 **Tabla 6.** Comportamiento del índice oceánico de El Niño, año 2022

Año	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDE
2022	-1,0	-0,9	-1,0	-1,1	-1,0	-0,9	-0,8	-0,9	-1,0	-1,0	-0,9	-0,8

Fuente: ONI⁹ - ERSST.v5 SST (2022).

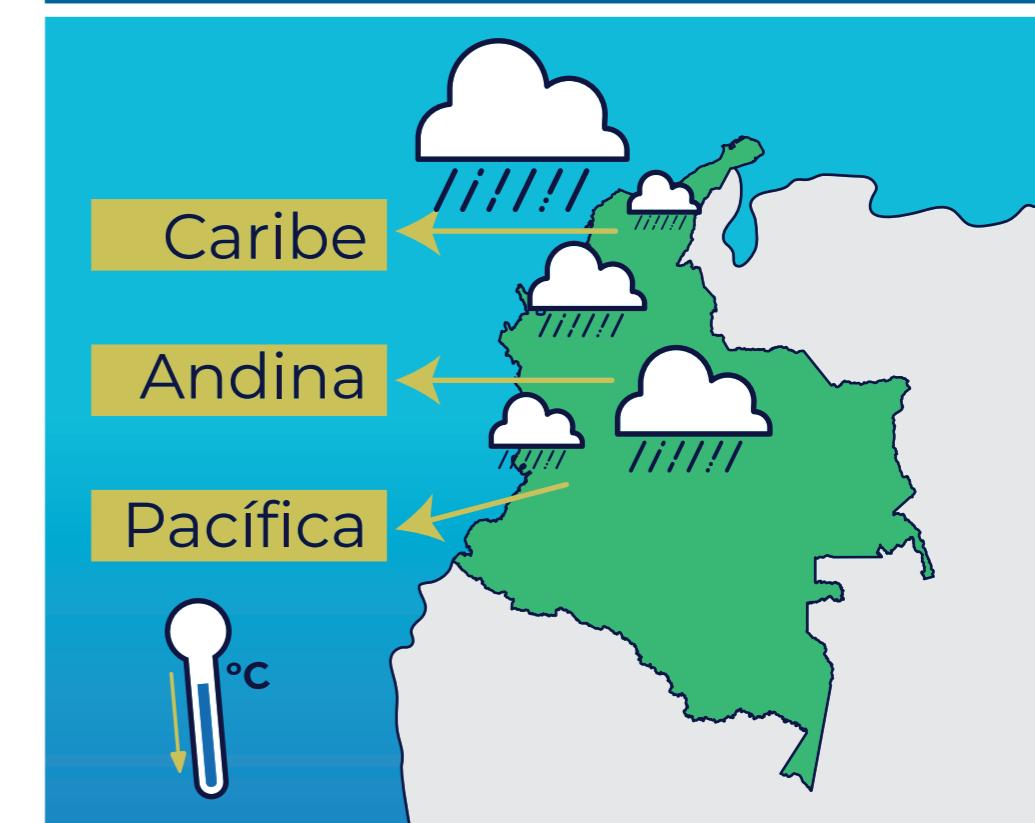
Durante todo del año 2022, en gran parte del país predominó la fase de La Niña del ciclo ENSO (El Niño – Oscilación del Sur).

9. Índice Oceánico de El Niño (ONI, por sus siglas en inglés). Reportado desde 1950. Disponible en: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php



Fenómeno de la niña

Para mayor orientación consulte en:
https://www.youtube.com/watch?v=y-dbLt_zKWo



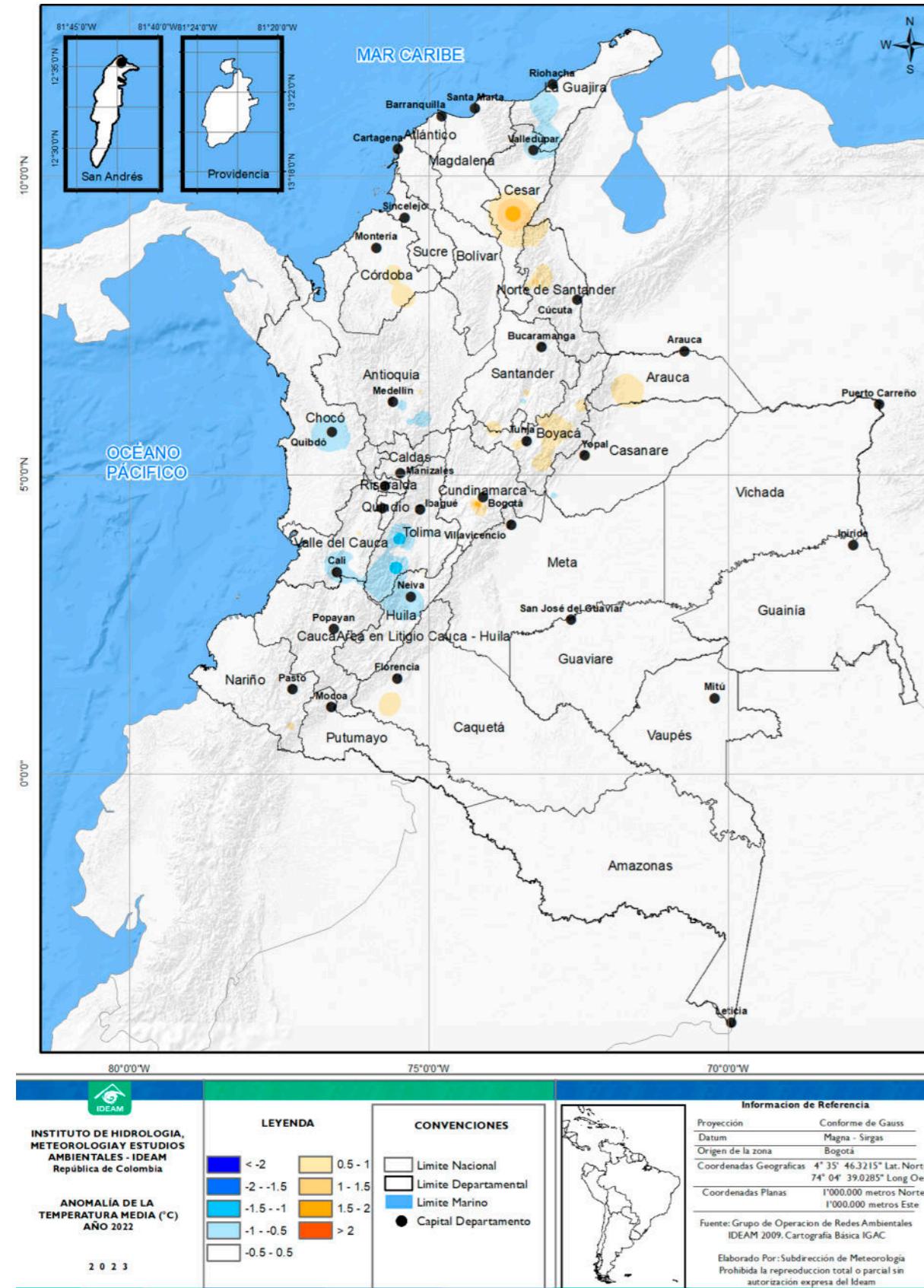


Figura 51. Índice de la anomalía anual de la temperatura media para el año 2022

Con referencia a la Normal Climatológica (1981 – 2010) y de acuerdo con la Figura 51, el año 2022 presentó:

El comportamiento de la temperatura media en el país depende de varios factores, sin embargo, se modula en gran medida por la ocurrencia de los fenómenos El Niño y La Niña.

En gran parte del territorio se presentaron anomalías de la temperatura media en el rango de la normalidad, a pesar de que predominó la fase de La Niña del ciclo ENSO (El Niño – Oscilación del Sur) durante todo el año.

Anomalías positivas:

Se concentraron en sectores de Cesar, Norte de Santander, Santander, Córdoba, Boyacá, Arauca, Cundinamarca y Caquetá.

Comportamiento normal:

Predominaron en gran parte del territorio nacional, particularmente en las regiones de la Amazonía, Orinoquía, Pacífica, norte y sur de la Andina y centro de la Caribe.

Anomalías negativas:

Se presentaron en sectores de La Guajira, Cesar, Chocó, Antioquia, Tolima, Huila y Valle del Cauca.

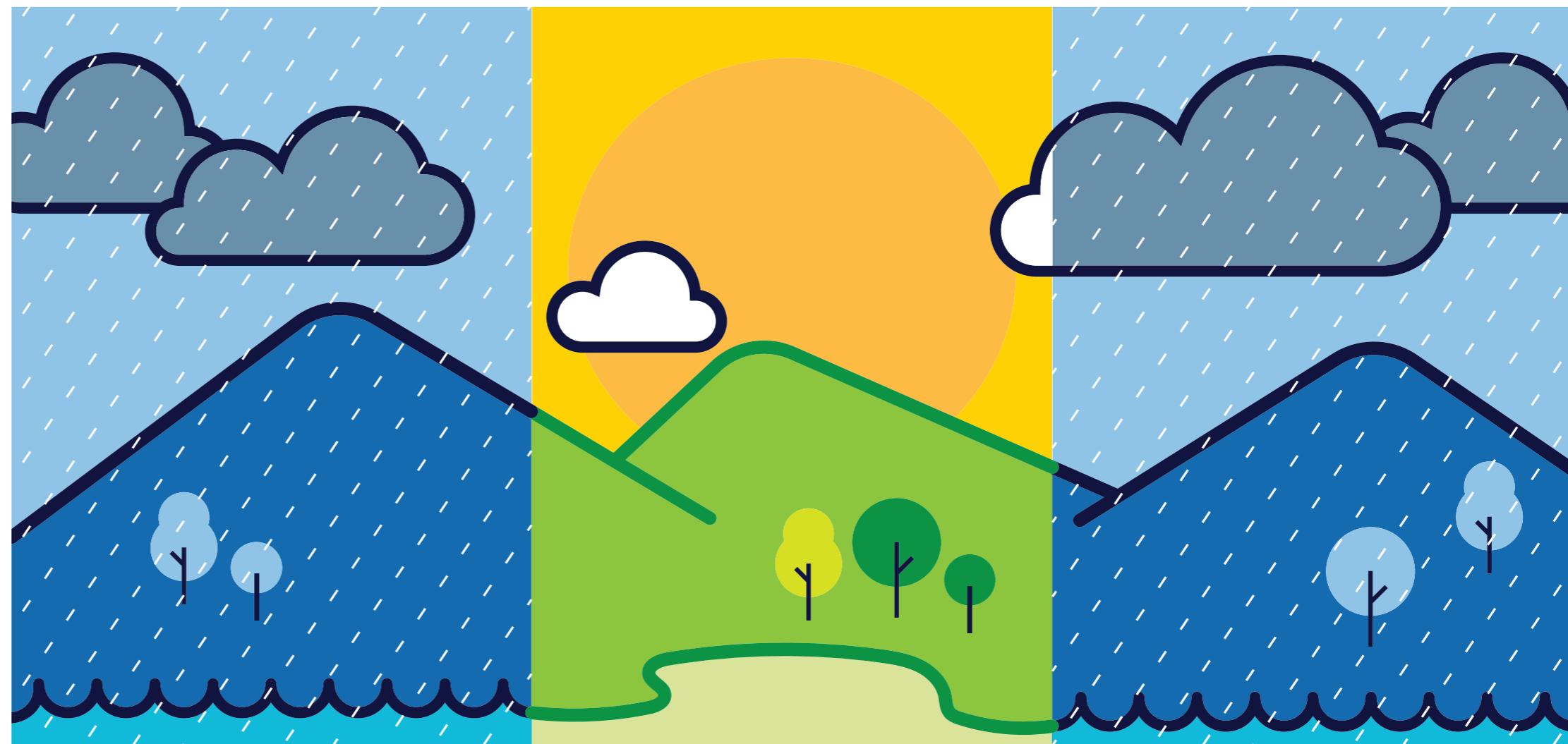
7.1.2. COMPORTAMIENTO DEL ÍNDICE DE PRECIPITACIÓN ANUAL

La lluvia es un fenómeno atmosférico consistente en una precipitación acuosa en forma de gotas líquidas, cuyo diámetro se halla generalmente comprendido entre 0,5 y 7 mm y que caen a una velocidad del orden de los 3 m/s. El volumen de lluvia se mide en milímetros. Un milímetro equivale a un litro de agua por metro cuadrado.

Los dos principales aparatos de medición de la precipitación son el pluviómetro y el pluviógrafo. El primero mide el volumen total de lluvia caída durante el día meteorológico (de 7 a. m. del día inicial a 7 a. m. del día siguiente). El segundo es un aparato de registro continuo que permite determinar la intensidad de la precipitación en un intervalo de tiempo dado.

El Índice de Precipitación Porcentual permite determinar si la variable en análisis se registró dentro del rango de valores normales, o entre los intervalos por encima o por debajo de lo normal. El promedio del periodo de referencia de 30 años es la base del cálculo y representa el 100 %. El umbral de normalidad se determina entre el 80 % y 120 % del valor medio.

En el año 2022 se presentó un comportamiento en la precipitación muy cercano a lo normal en gran parte de la Amazonía, la Orinoquía, sectores del norte y sur de la región Andina, centro y sur de la Pacífica y el sur de la región Caribe, como se puede apreciar en la figura 52.



Cada una de las cinco regiones naturales del país tiene un comportamiento climatológico propio en periodicidad y volumen medio anual. La región Pacífica, que registra precipitaciones abundantes durante todo el año, es la más lluviosa del país y una de las más lluviosas del planeta. La región Caribe tiene un comportamiento climatológico monomodal con mayores precipitaciones entre los meses de mayo y noviembre, mientras registra condiciones mayormente secas entre diciembre y abril. La región Andina, por su parte, tiene dos períodos relativamente lluviosos, marzo-junio y septiembre-noviembre, intercalados con dos períodos relativamente secos, diciembre-marzo y julio-septiembre. La región Orinoquia registra lluvias abundantes entre los meses de mayo y noviembre, mientras reporta condiciones relativamente secas entre diciembre y abril. La Amazonia tiene precipitaciones durante todo el año, con disminución en el volumen de lluvia hacia mayo-julio.

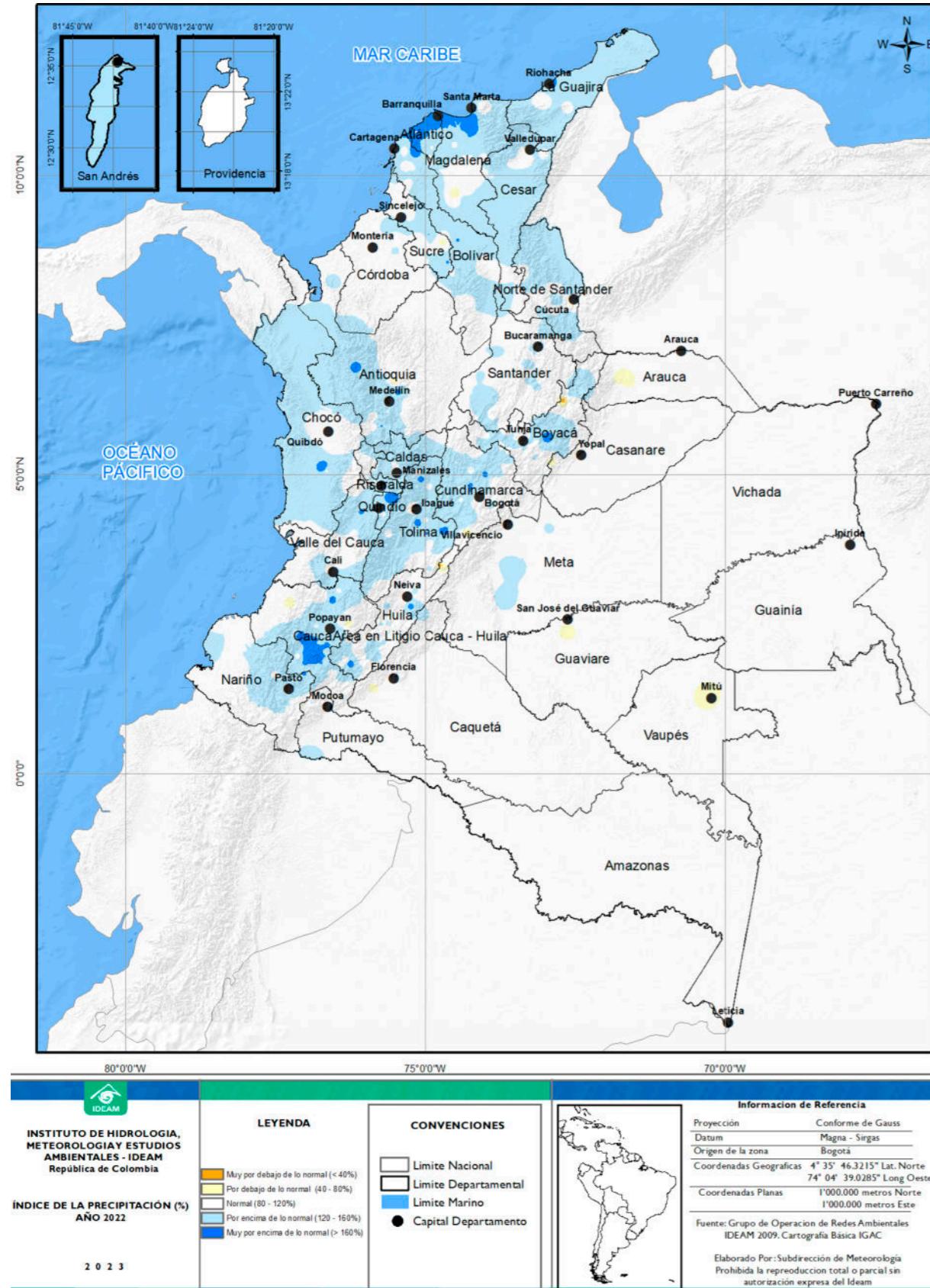


Figura 52. Índice de la precipitación anual en porcentaje para el año 2022

Con referencia a la normal climatológica vigente (1981 – 2010) y de acuerdo con la Figura 52, el año 2022 presentó:

El comportamiento de la precipitación anual presentó predominancia de la ocurrencia del fenómeno de La Niña.

La ocurrencia de la fase de La Niña durante gran parte del año generó lluvias por encima de lo normal en amplios sectores del norte y centro de la región Caribe, la Andina y en el norte y centro de la Pacífica. Se destaca que en el año 2022 llovió más que en el año 2021 en gran parte del país.

Precipitaciones por debajo de lo normal:

Se concentraron en sectores específicos de los departamentos de Magdalena, Sucre, Arauca, Boyacá, Casanare, Huila, Cauca, Guaviare, Caquetá y Vaupés.

Comportamiento normal:

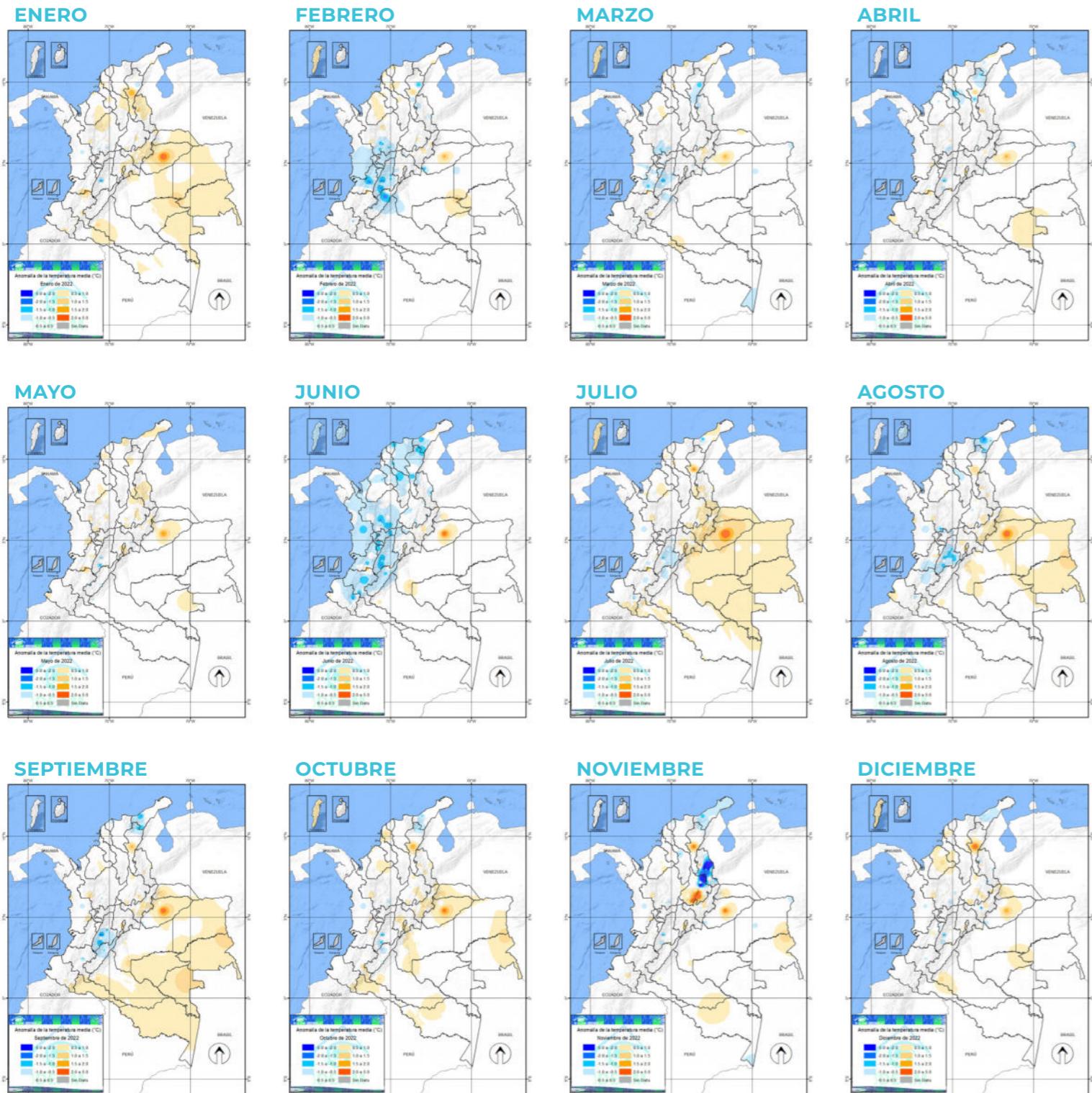
Se presentó en gran parte de la Amazonía, la Orinoquía, sectores del norte y sur de la región Andina, centro y sur de la Pacífica y el sur de la región Caribe.

Precipitaciones por encima de lo normal:

Se registraron en amplios sectores del norte y centro de la región Caribe, la Andina y en el norte y centro de la Pacífica.

7.1.3. ANÁLISIS DE LA ANOMALÍA MENSUAL DE LA TEMPERATURA MEDIA

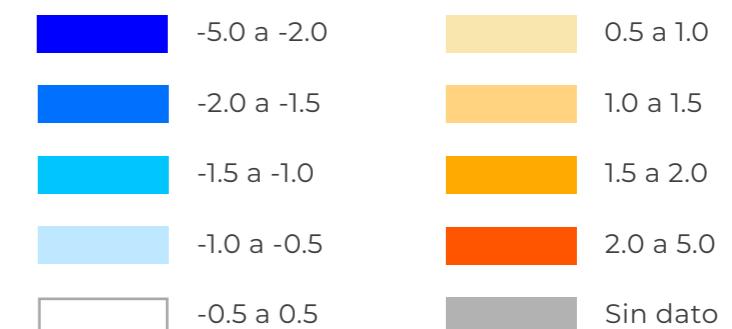
 **Figura 53.** Mosaico de la anomalía mensual de la temperatura media durante el año 2022



Fuente: Ideam (2022).

De acuerdo con el mosaico de la Figura de la anomalía mensual de la temperatura media, durante el primer semestre del año 2022 predominaron las condiciones cercanas a la normalidad en gran parte del territorio nacional, y en menor grado las anomalías negativas principalmente en febrero, marzo y junio hacia el centro del país. Durante el segundo semestre también predominaron las condiciones cercanas a la normalidad en gran parte del territorio, seguidas por las anomalías positivas, ubicadas principalmente al oriente del país, y en menor grado las anomalías negativas que se presentaron hacia el centro del territorio en los meses de julio, agosto y septiembre.

Anomalía de la temperatura media (°C)



Región Caribe: predominaron las condiciones cercanas a la normalidad durante gran parte del año. Las anomalías positivas más altas se presentaron en algunos pequeños sectores del centro y sur de la región, en los meses de enero, febrero, julio, octubre y diciembre; mientras que las anomalías negativas se observan durante el primer semestre del año, inicialmente al oriente y llegando a ser generalizadas en gran parte de la región en junio, mientras que en el segundo semestre se dan solo en sectores de La Guajira, norte del Cesar y centro de Bolívar.

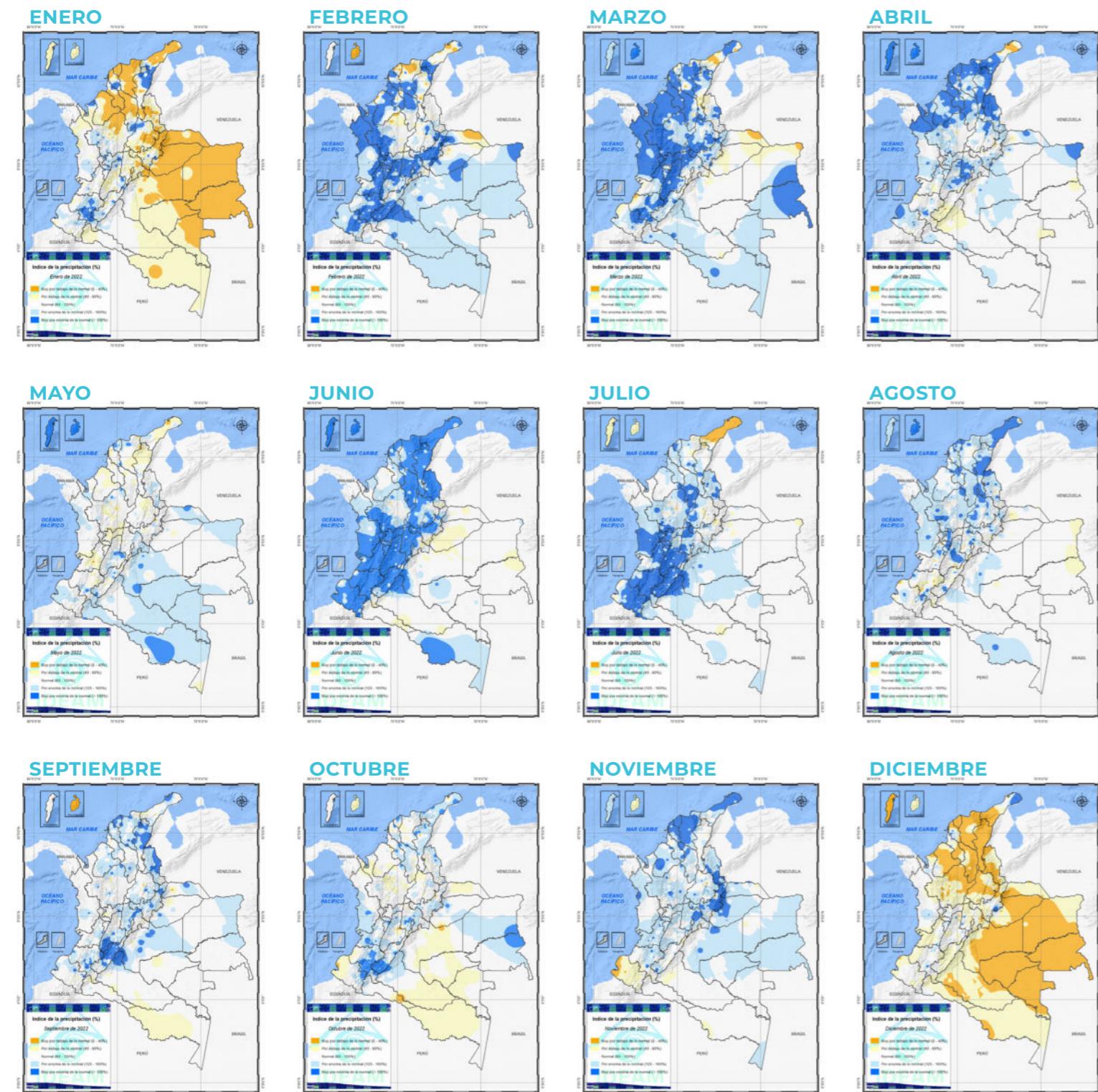
Región Andina: durante gran parte de los meses del año predominaron las condiciones cercanas a la normalidad. Las anomalías positivas más altas se presentaron en enero, mayo, julio y octubre, mientras que las anomalías negativas más altas se dieron en los meses de febrero, marzo, junio, agosto y septiembre, especialmente en el centro de la región.

Región Pacífica: predominaron las condiciones cercanas a la normalidad durante gran parte del año en la mayor parte de la región, excepto por

la ocurrencia de anomalías positivas en algunos pequeños sectores del centro y sur a lo largo del año, así como anomalías negativas en amplios sectores del centro en los meses de febrero, marzo y agosto, y como las que se presentaron en una parte mayoritaria de la región en junio.

Amazonía: en gran parte de la región y durante todo el año predominaron las condiciones cercanas a la normalidad, excepto por anomalías positivas en algunos meses en sectores del oriente y norte de la región; Putumayo, sur de Caquetá y noroccidente del Amazonas. En septiembre, las anomalías positivas cubrieron la mayor parte de la región.

Orinoquía: predominaron las condiciones cercanas a la normalidad durante casi todo el año, excepto en los meses de enero, julio, agosto, septiembre y octubre en donde se presentaron anomalías positivas en amplios sectores de la región. También se presentaron pequeños sectores en Vichada con anomalías negativas en febrero, marzo y noviembre.

**Figura 54.** Mosaico del Índice de Precipitación Mensual durante el año 2022

Fuente: Ideam (2022).

7.1.4. ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE PRECIPITACIÓN MENSUAL

A continuación, se presenta un análisis espacio - temporal del índice de precipitación por regiones durante el año 2022, de acuerdo con lo observado en el mosaico de la Figura 54.

Al realizar un análisis comparativo del comportamiento mensual de la precipitación con el ciclo de El Niño – Oscilación del Sur (ENSO), se encuentra que, durante todo el año se presentó el evento frío (La

Niña) asociado a la ocurrencia de lluvias por encima de lo normal en amplios sectores del norte y centro de la región Caribe, la Andina y en el norte y centro de la Pacífica. Lo anterior se evidencia en forma más notoria en los períodos entre febrero y abril, entre junio y septiembre y en noviembre. También se destaca que en los meses de enero y diciembre se presentaron déficits de lluvia en amplios sectores del oriente y norte del país.

Región Caribe: durante el primer y el último mes del año 2022 se presentaron los déficits de lluvia más altos en la región con respecto a sus valores normales, fueron meses caracterizados por encontrarse en temporadas de menos lluvias, seguidos por mayo; este mes se encuentra en la primera temporada de lluvias de la región. Para el resto del año predominaron lluvias por encima de lo normal en gran parte de la región, excepto por algunos déficits en sectores del norte durante algunos meses.

Región Andina: se presentaron excesos de lluvia en gran parte de la región durante todo el año. Los excesos de lluvia muy por encima de lo normal se dieron principalmente en los meses de febrero, marzo, junio y julio. Por lo contrario, los meses con menores excesos de lluvia fueron enero, mayo, octubre y diciembre, meses en los cuales, incluso, se presentaron sectores con condiciones normales y déficits.

Región Pacífica: no se presentaron excesos de lluvia tan altos como en las anteriores regiones, incluso en la mayoría de los meses predominaron las condiciones

normales o los déficits de lluvia en gran parte de la región. Los mayores excesos se dieron a mediados de año en el departamento del Amazonas y los déficits se presentaron en gran parte de la región en los meses de enero, octubre y diciembre.

Amazonía: se registraron lluvias por encima de lo normal en amplios sectores del piedemonte, norte y oriente de la región durante los meses de enero, marzo, abril y mayo. Para el resto de los meses las precipitaciones se presentaron dentro de lo normal o con algunos déficits, los más altos ocurridos en los meses de noviembre y diciembre.

Región Orinoquía: al igual que en la Amazonía no se presentan excesos de lluvia tan altos como en las primeras tres regiones, y en la mayoría de los meses predominaron las condiciones normales o los déficits de lluvia en gran parte de la región. Los mayores excesos de lluvia se presentaron en pequeños sectores de la región en los meses de febrero, marzo, abril y octubre. Los déficits más altos ocurrieron en los meses de enero y diciembre.



Conclusiones y
recomendaciones

8.1. MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE, AÑO 2022

Cifras importantes

Durante el año 2022 el monitoreo y seguimiento de calidad del aire a nivel nacional fue llevado a cabo por con **24 Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire -SVCA-** administrados por autoridades ambientales. Estos SVCA contaron en total con **213** estaciones de monitoreo, de las cuales, el **90,1 %** monitoreó de forma permanente y el **9,9 %** monitoreó por campañas (mínimo de 18 días).

Del total de estaciones de monitoreo, el **59 %** contó con tecnologías automáticas, el **32 %** con tecnologías manuales y el **9 %** con tecnologías híbridas, se registró una leve disminución respecto al año 2021 en el uso de equipos de monitoreo automáticos en favor de las tecnologías manuales e híbridas; esto genera una oportunidad de mejora para el tránsito gradual a tecnologías de monitoreo que permitan una rápida toma de decisiones ante contingencias por la calidad del aire en el territorio nacional.

En el año 2022, el contaminante con mayor nivel de monitoreo fue el material particulado grueso (PM_{10}), cuyo seguimiento fue realizado por el **81 %** de las estaciones, seguido del material particulado fino ($PM_{2,5}$) cuya vigilancia fue ejecutada por el **68 %** de las estaciones; mientras que la vigilancia de los gases se llevó a cabo en menos del **31 %** de las estaciones.

Los SVCA se distribuyeron en **20 departamentos** y en **88 municipios**. Sin embargo, se debe fortalecer el monitoreo del recurso aire en el territorio nacional, teniendo en cuenta que, de acuerdo con los requerimientos para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire según las cifras de la población de los municipios, 88 municipios requieren implementar un SVCA y **37 municipios** requieren mejorarlo, fortalecer las capacidades del SVCA mediante la incorporación de más estaciones y variables a monitorear y/o implementando el monitoreo permanente.

Finalmente, se debe fomentar la acreditación de los SVCA, porque el **58 %** de los administrados por autoridades ambientales no se encuentran acreditados. La acreditación garantiza la confiabilidad en la información producida por los SVCA.

Gestión a resaltar

El 2022 puede ser considerado como el primer año de regreso a las condiciones de normalidad en cuanto a las actividades antropogénicas, después del impacto de la pandemia generada por el COVID-19; bajo este contexto es importante resaltar el rol de la mayoría de las autoridades ambientales que administran los Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire a nivel nacional por el incremento del **10,7 %** en el número de registros reportados al Sisarie, además del aumento del **9 %** en el número de SVCA que realizaron el monitoreo del recurso aire durante la presente vigencia.

Por otra parte, se destacan los esfuerzos realizados por las diferentes autoridades ambientales para implementar o fortalecer sus SVCA por medio de la implementación, recuperación o mejora de sus estaciones de monitoreo; esto teniendo en cuenta que se presentó un aumento del **7 %** en el número total de estaciones de monitoreo de calidad del aire en el territorio nacional.

También resulta importante resaltar la gestión efectuada por las autoridades ambientales respecto a la disposición de recursos de infraestructura, talento humano capacitado, tecnología, y demás insumos y servicios necesarios que han mejorado la calidad de los datos generados por sus SVCA; estos presentaron aumentos que van desde el **2 %** al **14 %** en el número de estaciones con representatividad temporal para todos los contaminantes criterio monitoreados respecto al año 2021.

A excepción del dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre se mantiene la tendencia al alza en el monitoreo de los contaminantes criterio en el territorio nacional. El ozono troposférico tuvo un incremento del **14 %**, y fue la variable cuyo monitoreo se fortaleció más respecto al año 2021.

El Ideam continua brindando apoyo a las autoridades ambientales para fortalecer sus capacidades en cuanto a la orientación de sus procesos de análisis y aseguramiento de la calidad de los datos generados por sus respectivos SVCA, con el fin de generar información confiable para la generación de estadísticas relevantes y confiables de cara a la toma de decisiones respecto al recurso en todo el territorio nacional.

Oportunidades de mejora

A pesar de que durante el año 2022 se evidenció el fortalecimiento en el monitoreo de la calidad del aire por varias autoridades ambientales, representado en el incremento de registros en el Sisarie y el número de estaciones cumpliendo con representatividad temporal para todos los contaminantes criterio, algunos sistemas de vigilancia de grandes centros urbanos muestran retrocesos en cuanto a la representatividad temporal de los contaminantes criterio monitoreados en sus jurisdicciones.

Adicionalmente, durante el año 2022, se identificaron oportunidades de mejora respecto a los procesos de validación y oportunidad en el cargue de la información obtenida por parte de los SVCA administrados por las diferentes autoridades ambientales en el territorio nacional; por tal motivo se recomienda el fortalecimiento de las capacidades institucionales respecto a los dos aspectos anteriormente mencionados, de manera que se pueda disponer de manera oportuna con información confiable para la producción de estadísticas e indicadores nacionales. Aunque las autoridades ambientales vienen realizando esfuerzos para fortalecer sus sistemas de vigilancia y mejorar la calidad de la información generada por sus estaciones de monitoreo, en la vigencia 2022 se redujo el número de SVCA acreditados en la NTC-ISO/IEC 17025, por tal motivo se insta a fortalecerlos, de manera que crezca progresivamente el número de estos que estén acreditados, y así garantizar la producción de información cada vez más confiable sobre la calidad del aire en el territorio nacional.

Con el fin de salvaguardar la salud pública de las poblaciones bajo su jurisdicción, es importante que las diferentes autoridades ambientales, administraciones locales y regionales articulen esfuerzos técnicos para implementar o fortalecer los SVCA que por su número de habitantes o problemáticas de contaminación atmosférica así lo necesiten, facilitando la formulación, implementación y seguimiento de políticas públicas o estrategias de mitigación de impactos por la calidad del aire en la población.

8.2. ESTADO DE LA CALIDAD DEL AIRE AÑO 2022



Cifras importantes

A nivel nacional, el comportamiento anual del PM₁₀ reflejó que el **97 % de las estaciones** de monitoreo que tuvieron una representatividad adecuada refirieron cumplimiento con respecto al nivel máximo permisible anual expuesto en la resolución 2254 de 2017. Entre las estaciones de monitoreo que registraron las mayores concentraciones, superando el límite mencionado, se relacionan tres (Policía Los Gómez, Móvil Fontibón y Colegio Soacha), las cuales se ubican en los municipios de Itagüí (Antioquia), Bogotá, D. C. y Soacha (Cundinamarca).

Por su parte, el **94,1 % de las estaciones** de monitoreo de PM_{2,5} que cumplieron con el criterio de representatividad temporal reportaron concentraciones inferiores al nivel máximo permisible anual expuesto en la resolución 2254 de 2017. Cinco estaciones reportaron concentraciones superiores al límite permisible, (Tráfico sur, FER, Tráfico centro, ITA-LGO, Mochuelo) cuatro de ellas ubicadas en Antioquia (municipio de Sabaneta, Amagá y la ciudad de Medellín (2)) y una en la ciudad de Bogotá, D.C.

Al analizar el comportamiento de los contaminantes criterio la mayor preocupación se asocia al material particulado; al revisar la ponderación del índice de calidad del aire (ICA) se pudo observar que se alcanzaron categorías dañinas para la salud de grupos sensibles y dañinas para la salud, en una proporción superior en contraste con los gases monitoreados. Esto subraya la necesidad imperativa de unir esfuerzos para reducir estas concentraciones y mejorar la calidad del aire.

Por su parte, el dióxido de nitrógeno registró cumplimiento de la norma anual en el **100 % de las estaciones** que midieron este contaminante, y el **88,5 % de las estaciones** cumplieron con el nivel máximo permisible proyectado al año 2030.

Respecto al comportamiento de otros contaminantes gaseosos como el dióxido de azufre, ozono y monóxido de carbono se registraron índices de calidad del aire en la categoría buena, en porcentajes superiores al 97 %, esto confirma que la contaminación atmosférica derivada de gases presenta un riesgo bajo para la salud de la población colombiana.



Gestión a resaltar

Las autoridades ambientales se han enfocado en fortalecer la vigilancia incrementando el monitoreo y seguimiento de la contaminación atmosférica. Se han establecido indicadores de seguimiento que apuntan a mejorar la calidad del aire, con metas proyectadas para los años 2022 y 2030. Estos indicadores se basan en el objetivo intermedio 3 de la Organización Mundial de la Salud -OMS- para el material particulado, y se refieren al porcentaje de estaciones de monitoreo de calidad del aire que cumplen con criterios de representatividad temporal y registran concentraciones promedio anuales inferiores a 30 µg/m³ para PM₁₀ y 15 µg/m³ para PM_{2,5}.

En relación con el PM₁₀, el porcentaje de estaciones que cumplió tanto con el criterio de representatividad temporal como con el objetivo intermedio 3 de la OMS **aumentó del 42,4 %** en 2021 al **54,5 %** en 2022, esto evidencia el cumplimiento de la meta del **35 %** establecida en la Estrategia Nacional de Calidad del Aire -ENCA- para el 2022. La tendencia de los últimos cinco años sugiere un cumplimiento anticipado de las metas de los documentos Conpes 3943 y 3918 para el año 2030, lo que supone que probablemente se alcance la meta del 70 % de estaciones de PM₁₀ para el año 2026.

En lo que respecta al PM_{2,5}, el indicador de seguimiento reportó un decrecimiento, pasando de **57,1 %** en 2021 al **47,6 %** en 2022; la razón de esta variación se debe a que, si bien no se incrementó el número de estaciones que cumplieron el objetivo intermedio 3 de la OMS respecto al 2021, sí se incrementó el número de estaciones con representatividad temporal.

La participación activa de ciudadanos, la academia y el sector privado emerge como un elemento esencial para enfrentar los desafíos, fomentando la autogestión y la autorregulación. En este sentido, el modelo de gobernanza de la calidad del aire propuesto por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible implica una estrecha colaboración entre las entidades gubernamentales y los actores externos, que promueva la acción colectiva, la inclusión y el diálogo, con el objetivo es establecer relaciones más horizontales entre gobernantes y gobernados, donde se destaca la importancia de la participación ciudadana y la necesidad de mejorar la educación para aportar soluciones verdaderamente efectivas.



Oportunidades de mejora

La mejora en la calidad de los datos resulta fundamental para fortalecer las iniciativas ambientales y asegurar un monitoreo efectivo de la contaminación en el territorio. Es crucial que las autoridades ambientales desarrollen estrategias dirigidas a perfeccionar los métodos de recopilación, análisis y presentación de datos relacionados con la calidad del aire. Este enfoque estratégico no solo mejorará la calidad de la información disponible, sino que también posibilitará una comprensión más profunda de la magnitud y las tendencias asociadas con este problema ambiental. Contar con datos ambientales de alta calidad facilitará a las autoridades evaluar la efectividad de las políticas existentes, identificar áreas críticas que necesiten intervención y formular planes más eficientes para mitigar la contaminación.

Dada la relevancia de la meteorología en la dispersión de contaminantes atmosféricos, se sugiere que las entidades ambientales refuerzen el monitoreo de estas variables en la mayoría de las estaciones que integran los SVCA. Esto facilitaría el examen integral de los episodios de contaminación, con especial atención en regiones donde las condiciones climáticas indican menor precipitación y niveles elevados de radiación solar.

Se ha constatado que, con el propósito de ampliar la comprensión sobre la contaminación atmosférica y contribuir a una gestión integral del recurso aire, es imprescindible que las autoridades ambientales puedan aunar esfuerzos para desarrollar inventarios detallados de emisiones y llevar a cabo ejercicios de modelización. Esto será fundamental para identificar las principales fuentes de contaminantes, comprender su distribución en el espacio y el tiempo, así como para evaluar sus impactos en la salud y el medio ambiente. En consecuencia, se sugiere fortalecer la generación de estos insumos como base esencial para la formulación de políticas públicas orientadas a la preservación de la calidad del aire.

De manera complementaria, se sugiere que las entidades ambientales incursionen en el uso de herramientas adicionales de información secundaria que aportan elementos para el análisis de la calidad del aire. Esto implica el uso de modelos predictivos y de reanálisis, basados en datos satelitales proporcionados por organismos internacionales. Estos recursos ofrecen datos detallados sobre diversos contaminantes atmosféricos, lo que puede enriquecer considerablemente la comprensión de la dinámica atmosférica a escala nacional.

Recomendaciones especiales

La normativa colombiana señala que, "los laboratorios que produzcan información cuantitativa, física, química y biótica para los estudios o análisis requeridos por las autoridades ambientales competentes, y los demás que produzcan información de carácter oficial relacionada con la calidad del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, deberán poseer certificado de acreditación correspondiente otorgado por el IDEAM" (Parágrafo 2 del artículo 5, del Decreto 1600 de 1994). Teniendo en cuenta este marco de referencia, desde el Ideam se recomienda a las autoridades ambientales, y demás organizaciones que realizan el muestreo y análisis de calidad del aire, encaminarse hacia la acreditación de sus SVCA y ensayos analíticos para garantizar la idoneidad y competencia técnica de acuerdo con los requisitos de la norma NTC-ISO/IEC 17025. Esto generaría confianza en la trazabilidad y calidad de la información producida por los mismos; esto implica la planificación del diseño de los sistemas o redes de monitoreo, actividades de muestreo, custodia de las muestras, mantenimiento y calibración de los equipos y competencia técnica del personal, de manera que se garanticen datos que permitan el seguimiento, la evaluación y el direccionamiento de las estrategias nacionales y regionales de gestión del recurso aire.

Se debe fortalecer la implementación de estrategias y políticas nacionales y regionales para la mitigación de la contaminación del aire, con el fin de reducir los posibles impactos en la salud pública y lograr el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en el mediano plazo (2030), por medio del robustecimiento de capacidades institucionales por parte de las autoridades ambientales. Adicionalmente, se requiere la apertura a la participación de diferentes actores de la sociedad civil que fomente la gobernanza alrededor de la gestión de acciones para el mejoramiento de la calidad del aire.

La comunidad científica ha identificado la importancia de emplear herramientas y datos secundarios para contribuir al entendimiento integral de la calidad del aire en Colombia. En este contexto, se sugiere que las autoridades ambientales promuevan investigaciones especializadas para validar y aprovechar la información proveniente de sistemas de monitoreo global, basados en tecnologías satelitales. Esta recomendación se fundamenta en el análisis espacial de la calidad del aire en el país, expuesto en el numeral 1.2.3. de este documento, que permite determinar que la información generada mediante estas herramientas es viable para ser usada como información complementaria. Sin embargo, se destaca la importancia de integrar y fortalecer los Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire, como fuente de información primaria que permite la validación de la secundaria.

Finalmente, se recomienda que las autoridades ambientales, el gobierno nacional y las demás instituciones del orden regional generen estrategias integradas para la mitigación de los efectos del cambio climático y la contaminación del aire, facilitando la posible captación de recursos y el cumplimiento simultáneo de los ODS, las NDC y las metas de los Conpes 3918 y 3943, en el mediano plazo.



Referencias bibliográficas

- Acevedo, J., Cabrera, A. Casallas, A. Belalcázar, L. C., Camelo, E. y Ferro C. (2022). Ideam. Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2021. Bogotá, D.C., Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – Ideam.
- Acevedo J., Cabrera A., Casallas A., Belalcazar L.C., Camelo E., Ferro C., (2023). Informe del estado actual de la calidad del aire en Colombia 2021. Chapter 6: Análisis espacial de la calidad del aire en Colombia por medio de datos de satélites. Reporte técnico. Ideam. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/024012/024012.pdf>
- Agencia Nacional de Minería, (2019). El Cesar produce el 64% del carbón del país | Agencia Nacional de Minería ANM. El Cesar produce el 64% del carbón del país. URL <https://www.anm.gov.co/?q=el-cesar-produce-el-64-poriento-del-carbon-del-pais> (accedido en Agosto 08, 2023).
- Ballesteros-González, K., Sullivan, A.P., Morales-Betancourt, R., (2020). Estimating the air quality and health impacts of biomass burning in northern South America using a chemical transport model. Sci Total Environ. 739, 139755. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139755>
- Banco de desarrollo de américa latina y el caribe, (2023) Observatorio de movilidad Consultado en: <https://www.caf.com/es/temas/o/observatorio-de-movilidad-urbana/ciudades/bogota/>
- Casallas, A., Castillo-Camacho, M.P., Guevara-Luna, M.A., González, Y., Sánchez, E., Belalcázar, L.C., (2022). Spatio-temporal analysis of PM2.5 and policies in Northwestern South America. Sci. Total Environ. 852, 158504. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158504>
- Casallas, A., Castillo-Camacho, M.P., Sanchez, E.R., González, Y., Celis, N., Mendez-Espinosa, J.F., Belalcazar, L.C., Ferro, C., (2023a). Surface, satellite ozone variations in Northern South America during low anthropogenic emission conditions: a machine learning approach. Air Qual Atmos Health. 16, 745-764. <https://doi.org/10.1007/s11869-023-01303-6>
- Casallas, A., Córdoba, T., Sanchez-Cardenas, L., Guevara-Luna, M.A., Belalcázar, L.C., (2023b) Understanding the atmospheric characteristics of high polluted events in a tropical megacity. Rev EIA Esc Ing. 107, 53-65. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20220682>
- Castro, G. (2019). Metodología para determinar la cantidad de material particulado en la capa troposfera a partir de teledetección . Área de estudio : Valle de Aburrá , Antioquia , para el año 2016 . Universidad Católica de Manizales.
- Chen, Bin & Li, Jing & Jin, Yufang. (2021). Deep Learning for Feature-Level Data Fusion: Higher Resolution Reconstruction of Historical Landsat Archive. Remote Sensing. 13, 167. [10.3390/rs13020167](https://doi.org/10.3390/rs13020167).
- Cooper M., Martin R., McLinden C., Brook J. (2020). Inferring ground-level nitrogen dioxide concentrations at fine spatial resolution applied to the TROPOMI satellite instrument Environmental Research. 15-10. DOI [10.1088/1748-9326/aba3a5](https://doi.org/10.1088/1748-9326/aba3a5)
- Culma Ortiz Iván Andrés (2021) Metodología para estimar material particulado PM 2.5 integrando datos de estaciones de monitoreo y sensores remotos en el área urbana de la ciudad de medellín Universidad del Valle.
- Departamento Nacional de Planeación, (2022), Informe Anual de Avance en la Implementación de los ODS en Colombia. https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Sinergia/Documentos/2022_14_04_Informe_anual_avance_implementacion_ODS_en_Colombia_2022.pdf
- Duncan, Bryan N. Ana I. Prados, Lok N. Lamsal, Yang Liu, David G. Streets, Pawan Gupta, Ernest Hilzenrath, Ralph A. Kahn, J. Eric Nielsen, AndreasJ. Beyersdorf,Sharon P.Burton, Arlene M. Fiore,Jack Fishman, Daven K. Henze, Chris A. Hostetler, Nickolay A. Krotkov, Pius Lee, Meiyun Lin, Steven Pawson, Gabriele Pfister, Kenneth E. Pickering, R. Bradley Pierce, Yasuko Yoshida, Luke D. Ziemba,(2014) Satellite data of atmospheric pollution for U.S. air quality applications: Examples of applications, summary of data end-user resources, answers to FAQs, and common mistakes to avoid, Atmospheric Environment, Volume 94, Pages 647-662, ISSN 1352-2310, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.05.061>.
- ESICI (2022). Boletín estratégico multidisciplinario. Deforestación y la campaña Artemisa en Colombia.
- EPA. (2011). BLACK CARBON RESEARCH AND FUTURE STRATEGIES. Reducing emissions, improvin human health and taking action on climate change. Recuperado de: https://www.epa.gov/sites/default/files/2013-12/documents/black-carbon-fact-sheet_0.pdf
- EPA. (2015). Criteria Air Pollutants. Recuperado de: https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-10/documents/ace3_criteria_air_pollutants.pdf
- EPA. (2023). Nitrogen Oxides (NOx) Control Regulations. Recuperado de: <https://www3.epa.gov/region1/airquality/nox.html>
- FCDS (2022). Seguimiento de la pérdida de bosques y cambio de cobertura en el arco de deforestación de la amazonia Colombiana (abril 2021 - marzo 2022).
- FCDS (2023). Alertas de incendios en la Amazonia.
- Galán Madruga, D. (2021). Implication of Secondary Atmospheric Pollutants in the Air Quality: A Case-Study for Ozone. In Environmental Sustainability - Preparing for Tomorrow. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.95481>
- García-Delgadillo, Juan Mauricio. 2022. "Uso de imágenes satelitales MODIS-MAIAC (AOD) como indicadores cualitativos de la concentración de material particulado (PM2 5) en la ciudad de Bogotá." Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía 31 (I): 211-221. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v31n1.87247>
- Gitahi, Joseph Mureithi Hahn, Michael Ramírez, Andrés Felipe (2019) High-resolution urban aerosol monitoring using Sentinel-2 satellite images Earth Observ. Geomat. Eng.
- Golumbic, Y. N., Fishbain, B., & Baram-Tsabari, A. (2019). User centered design of a citizen science air-quality monitoring project. In International Journal of Science Education, Part B (Vol. 9, Issue 3, pp. 195–213). Informa UK Limited. <https://doi.org/10.1080/21548455.2019.1597314>
- González Castillo, Y. (2021). Evaluación del impacto en la calidad del aire generado por el aislamiento preventivo como medida frente al COVID-19 en tres ciudades de Colombia.
- Guevara-Luna, Marco & González, Jorge Mario & Munoz, Sebastian & Belalcazar, Luis. (2019). Spatial and temporal evaluation of PM10 and PM2.5 in Colombia using satellite information (CAMS, MODIS-AOD) and surface air quality measurements. 1-5. [10.1109/CASAP48673.2019.9364071](https://doi.org/10.1109/CASAP48673.2019.9364071)
- Hoff, R.M. Christopher, S.A. (2009) Remote Sensing of Particulate Pollution from Space: Have We Reached thePromised Land? ISSN:1047-3289J. Air & Waste Manage. Assoc.59:645–675DOI:10.3155/1047-3289.59.6.645Copyright 2009 Air & Waste Management Association

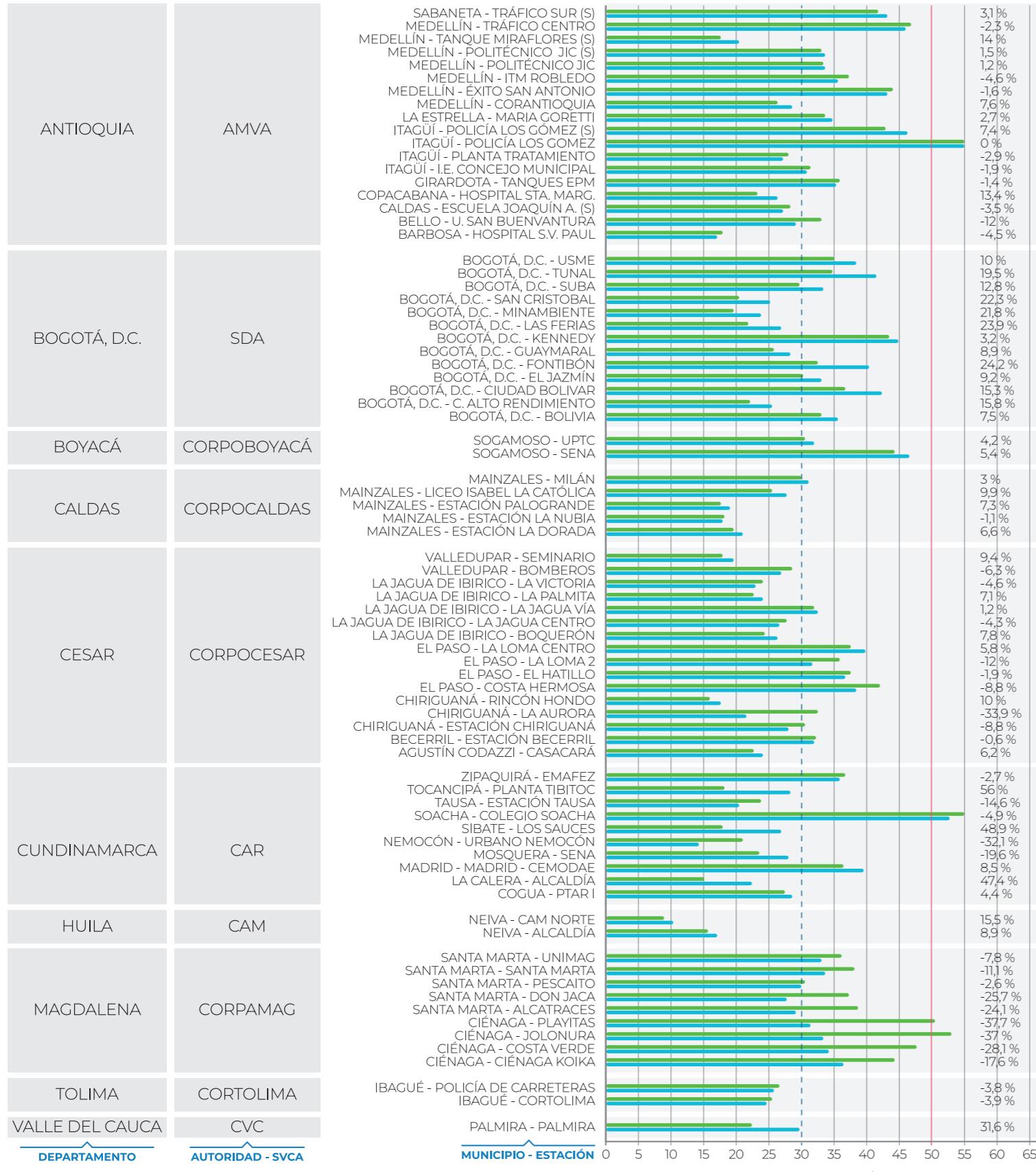
- Ideam. (2022). Boletín de Detección Temprana de Deforestación. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023991/023991.html>
- Ideam, 2023. AGENTES PRECURSORES [http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/los-agentes-precursores-de-la-lluvia-acida#:~:text=LOS%20AGENTES%20PRECURSORES%20DE%20LA%20LLUVIA%20%C3%81CIDA%20%2D%20IDEAM&text=Los%20%C3%B3xidos%20de%20azufre%20\(SO,\(COV\)%2C%20entre%20otros.](http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/los-agentes-precursores-de-la-lluvia-acida#:~:text=LOS%20AGENTES%20PRECURSORES%20DE%20LA%20LLUVIA%20%C3%81CIDA%20%2D%20IDEAM&text=Los%20%C3%B3xidos%20de%20azufre%20(SO,(COV)%2C%20entre%20otros.)
- Ideam. (2023). Otras iniciativas. Recuperado de: <http://www.cambioclimatico.gov.co/otras-iniciativas>.
- Ideam. (2023). Ozono troposférico. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/ozono-troposferico>
- Inness, A., Ades, M., Agustí-Panareda, A., Barré, J., Benedictow, A., Blechschmidt, A.-M., Dominguez, J.J., Engelen, R., Eskes, H., Flemming, J., Huijnen, V., Jones, L., Kipling, Z., Massart, S., Parrington, M., Peuch, V.-H., Razinger, M., Remy, S., Schulz, M., Suttie, M. (2019). The CAMS reanalysis of atmospheric composition. *Atmospheric Chemistry and Physics* 19, 3515–3556. <https://doi.org/10.5194/acp-19-3515-2019>
- IPCC 2023. Sixth assessment report. Recuperado de: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>
- Hesterberg, T.W., Bunn, W.B., McClellan, R.O., Hamade, A.K., Long, C.M., Valberg, P.A., (2009). Critical review of the human data on short-term nitrogen dioxide (NO₂) exposures: Evidence for NO₂ no-effect levels. *Critical Reviews in Toxicology* 39, 743–781. <https://doi.org/10.3109/10408440903294945>
- Jacob, Mbarndouka & Kountchou Noube, Michaux & Tchuente Siaka, Yvette Flore & Nasser, Nducol & Folifack Signing, Vitrice & Mogue, Ruth &, Saïdou. (2021). Low-cost air quality monitoring system design and comparative analysis with a conventional method. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*. 12. 10.1007/s40095-021-00415-y.
- Jackson, J. M., Liu, H., Laszlo, I., Kondragunta, S., Remer, L. A., Huang, J., and Huang, H.-C. (2013). Suomi-NPP VIIRS aerosol algorithms and data products. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118, 12,673– 12,689, doi:10.1002/2013JD020449
- Jain, P., Castellanos-Acuna, D., Coogan, S.C.P., et al. (2021). Observed increases in extreme fire weather driven by atmospheric humidity and temperature. *Nat. Clim. Chang.* 12, 63–70. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01224-1>
- Jion MMMF, Jannat JN, Mia MY, Ali MA, Islam MS, Ibrahim SM, Pal SC, Islam A, Sarker A, Malafaia G, Bilal M, Islam ARMT (2023). A critical review and prospect of NO₂ and SO₂ pollution over Asia: Hotspots, trends, and sources. *Sci Total Environ.* 2023 Jun 10;876:162851. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162851>. Epub 2023 Mar 13. PMID: 36921864.
- Li, Z.; Roy, D.P.; Zhang, H.K.; Vermote, E.F.; Huang, H. Evaluation of Landsat-8 and Sentinel-2A Aerosol Optical Depth Retrievals across Chinese Cities and Implications for Medium Spatial Resolution Urban Aerosol Monitoring. *Remote Sens.* 2019, 11, 122. <https://doi.org/10.3390/rs11020122>
- MADS (2022). Informe oficial de resultados de la deforestación en Colombia 2022. <https://www.youtube.com/watch?v=VCf0nrsst1E>.
- Manosalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., & Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. In *Frontiers in Public Health* (Vol. 8). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>
- Ma, Z., Hu, X., Huang, L., Bi, J., Liu, Y., & Liu, Y. (2016). A review of air pollution control strategies and their effects on air quality in China. *Science of the Total Environment*, 571, 917–926.
- Mateus-Fontecha, L., Vargas-Burbano, A., Jimenez, R., Rojas, N.Y., Rueda-Saa, G., van Pinxteren, D., van Pinxteren, M., Fomba, K.W., Herrmann, H., (2022). Understanding aerosol composition in an inter-andean valley impacted by sugarcane intensive agriculture and urban emissions. *Atmos. Chem. Phys.* 22, 8473–8495. <https://doi.org/10.5194/acp-22-8473-2022>
- Mendez-Espinosa, J.F., Belalcazar, L.C., Morales Betancourt, R., (2020). Regional air quality impact of northern South America biomass burning emissions. *Atmos. Environ.* 203, 131–140. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.01.042>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2021).Modelo de la gobernanza del aire para Colombia [Recurso electrónico] / Dirección de Asuntos Ambientales Sectorial y Urbana.Bogotá D.C.: Colombia.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, (2023), Modelo de la Gobernanza del Aire para Colombia, Encuentro de Autoridades Ambientales.
- Minsalud (2021). Minsalud comprometido con la calidad del aire. Recuperado de: <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Minsalud-comprometido-con-la-calidad-del-aire-.aspx#:~:text=Bogot%C3%A1%2C%202023%20de%20agosto%20de%202021.&text=As%C3%AD%20mismo%2C%20El%20Departamento%20Nacional,1%2C5%20%25%20del%20PIB.>
- Molina-Orjuela, D. E., Chavarro Ospina, S. G., & Guzmán Alvarado, B. O. (2022). Impactos del conflicto armado colombiano sobre el medio ambiente y acciones para su efectiva reparación. *Revista Científica General José María Córdova*, 20(40), 1087-1103. <https://dx.doi.org/10.21830/19006586.1129>
- Morales García Sindy Tatiana (2019) Caracterización del aerosol troposférico en la zona urbana del valle de aburrá, a partir de mediciones satelitales e in-situ Tecnológico de Antioquia Institución Universitaria.
- Murillo-Escobar, J., Sepulveda-Suescum, J.P., Correa, M.A., Oregon-Metuate, D. (2019). Forecasting concentrations of air pollutants using support vector regression improved with particle swarm optimization: Case study in Aburrá Valley, Colombia, 29, 100473. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100473>
- OMS 2022. Air Quality and health. Recuperado de: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Otero, N., Rincón, A., & Ramírez, J. (2018). Evaluating satellite retrievals of fine particulate matter concentrations and composition over South America. *Atmospheric Environment*, 194, 8–18
- Parra, M.A., Elustondo, D., Bermejo, R., Santamaría, J.M., (2009). Ambient air levels of volatile organic compounds (VOC) and nitrogen dioxide (NO₂) in a medium size city in Northern Spain. *Science of The Total Environment* 407, 999–1009. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.10.032>
- Pérez, W. (2021). Gobernanza ambiental y transformación social en Colombia. *Jurídicas*, 18(2), 281-296. <https://doi.org/10.17151/jurid.2021.18.2.16>
- Pulido Reyes Juan David (2022) Evaluación de la correlación entre datos de material particulado de 2.5 micrones de estaciones de monitoreo

- de calidad del aire y los datos obtenidos por el sensor MODIS, en la ciudad Bogotá D.C. Universidad Antonio Nariño.
- Ramírez Gutiérrez, Miguel Ángel. 2017. "Uso de Modelos Lineales Generalizados (MLG) para la interpolación espacial de PM10 utilizando imágenes satelitales Landsat para la ciudad de Bogotá, Colombia." *Perspectiva Geográfica* 22 (2): 105-121. <https://doi.org/10.19053/01233769.5600>
- Roldán-Henao, N., Hoyos, C. D., Herrera-Mejía, L., & Isaza, A. (2020). An Investigation of the Precipitation Net Effect on the Particulate Matter Concentration in a Narrow Valley: Role of Lower-Troposphere Stability. In *Journal of Applied Meteorology and Climatology* (Vol. 59, Issue 3, pp. 401–426). American Meteorological Society. <https://doi.org/10.1175/jamc-d-18-0313.1>
- Romero, H., Pabón, J. D., & Chaparro, C. (2017). Analysis of air quality in Colombia using satellite observations. *Revista Tumbaga*, 12(1), 19-27.
- Secretaría Distrital de Ambiente(2022) Informe Anual de Calidad del Aire Año 2021
- Stachulak, J., Allen, C., (2020). Evaluation of the effects of diesel oxidation catalysts on NO₂ emissions from diesel-powered mining vehicles. *CIM Journal* 11, 104–110. <https://doi.org/10.1080/19236026.2020.1752068>
- Suárez Castaño, R., Alonso Rodríguez, C., Ramírez Huertas, M.L., Pabón, W.A., Amazo Ramírez, L., Olaya Marín, E.J., González Rendón, A., Malagón Navarro, J.P., Beltrán Maldonado, J., Cardona, O., Benítez, A.M., Torres, J.A., García, E.K., Del Pilar Moreno, M., Yanguatin, H., Marimon Bolívar, W., Gómez Muñoz, S., Bernal, C.A., Fajardo Triana, D., Guerrero, O.J., Jaimes, C.A., García Gil, N.A., (2021). Actualización Reporte de Análisis Regional de la Zona Minera del Cesar. Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. Disponible en: <https://www.anla.gov.co/documentos/biblioteca/15-03-2022-reporte-de-analisis-regional-zona-minera-del-cesar-v3.pdf>
- Tang, G., Zhang, J., Zhu, X., Song, T., Münkel, C., Hu, B., ... & Wang, Y. (2016). Mixing layer height and its implications for air pollution over Beijing, China. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16(4), 2459-2475. Disponible en: <https://doi.org/10.5194/acpd-15-28249-2015>
- Trenchev, P., Dimitrova, M., Avetisyan, D., (2023). Huge CH₄, NO₂ and CO Emissions from Coal Mines in the Kuznetsk Basin (Russia) Detected by Sentinel-5P. *Remote Sensing* 15, 1590. <https://doi.org/10.3390/rs15061590>
- UNAL - Corpocaldas (2022). Boletín calidad del aire Manizales año 2022. Disponible en: https://corpocaldas2022.blob.core.windows.net/webadmin/file_InformeCa_1fBHJvb.pdf
- Ung, Anthony & Wald, Lucien & Ranchin, Thierry & Weber, Christiane & Hirsch, Jacky & Perron, Gilles & Kleinpeter, Joseph. (2001). Satellite data for the air pollution mapping over a city – The use of virtual stations. Proceedings, EARSeL Symposium 2001 "Observing our environment from space: new solutions for a new millennium".
- Ung, Anthony & Wald, Lucien & Ranchin, Thierry & Weber, Christiane & Hirsch, Jacky & Perron, Gilles & Kleinpeter, Joseph. (2003). Air pollution mapping: relationship between satellite- made observations and air quality parameters. Proceedings of the 12th symposium "Transport and Air Pollution".
- UNGRD (2022). Primera temporada seca 2022. Obtenido de: <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/>
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2008). Use of Satellite Data for Air Quality Management. Retrieved from <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/satellite-study.pdf>
- Vasquez, P., (2023). Análisis de la dinámica de la deforestación en el departamento del Guaviare (Colombia) entre los años 2014 - 2018.
- Vaughan, M.A., Powell, K.A., Winker, D.M., Hostetler, C.A., Kuehn, R.E., Hunt, W. H., Getzewich, B. J., Young, S. A., Liu, Z., & McGill, M. J. (2009). Fully Automated Detection of Cloud and Aerosol Layers in the CALIPSO Lidar Measurements. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 26(10), 2034-2050. <https://doi.org/10.1175/2009JTECHA1228.1>
- Veefkind, J. P., Aben, I., McMullan, K., Förster, H., de Vries, J., Otter, G., Claas, J., Eskes, H. J., de Haan, J.F., Kleipool, Q., van Weele, M., Hasekamp, O., Hoogeveen, R., Landgraf, J., Snel, R., Tol, P., Ingmann, P., Voors, R., Kruizinga, B., Vink, R., Visser, H. and Levelt, (2012). TROPOMI on the ESA Sentinel-5 Precursor: A GMES mission for global observations of the atmospheric composition for climate, air quality and ozone layer applications, *Remote Sens. Environ.*, 120, 70–83, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.09.027>
- Virta H, Ialongo I., Szelag M., Henk E.(2023). Estimating surface-level nitrogen dioxide concentrations from Sentinel-5P/TROPOMI observations in Finland, *Atmospheric Environment*, 119989, ISSN 1352-2310, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2023.119989>
- von Schneidemesser, E., Monks, P. S., Allan, J. D., Bruhwiler, L., Forster, P., Fowler, D., Lauer, A., Morgan, W. T., Paasonen, P., Righi, M., Sindelarova, K., & Sutton, M. A. (2015). Chemistry and the Linkages between Air Quality and Climate Change. In *Chemical Reviews* (Vol. 115, Issue 10, pp. 3856–3897). American Chemical Society (ACS). <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00089>
- World Health Organization. (2023). Air pollution. Recuperado de: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1
- Yangyang Jin, Zengzhou Hao, Haiqing Huang, Tianyu Wang, Zihua Mao, Delu Pan, (2022)Evaluation of LaSRC aerosol optical depth from Landsat-8 and Sentinel-2 in Guangdong-Hong Kong-Macao greater bay area, China, *Atmospheric Environment*, Volume 280, ISSN 1352-2310. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119128>



Anexos

 Figura 55. Variación porcentual de concentraciones anuales promedio PM₁₀, años 2021-2022



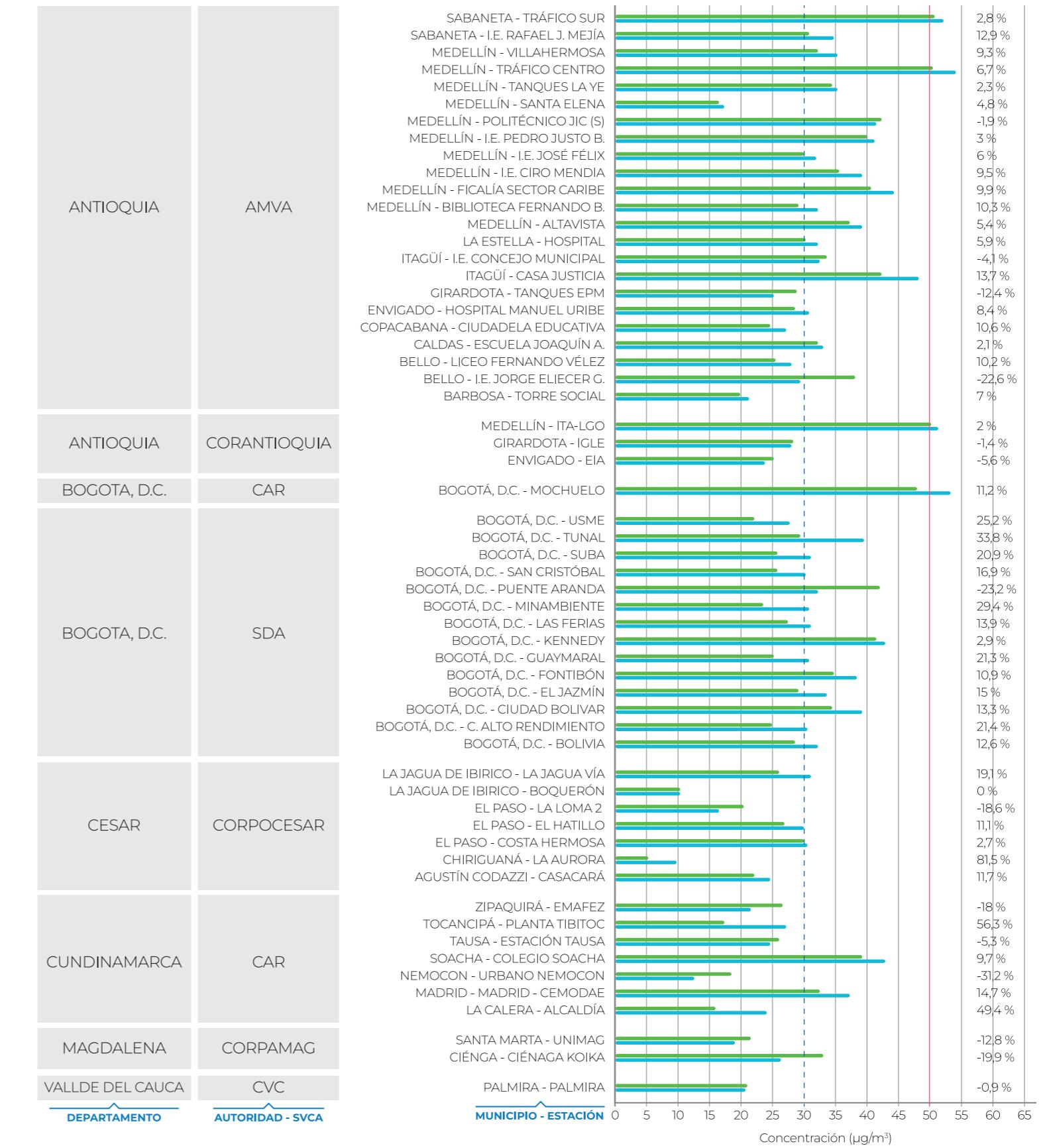
Fuente: Ideam (2022).

Res. 2254/2017

Res. 2254/2017 a 2030

2021 2022

 Figura 56. Variación porcentual de concentraciones anuales promedio PM_{2,5}, años 2021-2022



Res. 2254/2017

Res. 2254/2017 a 2030

2021 2022

Concentración (µg/m³)



IDEAM

Instituto de Hidrología,
Meteorología
y Estudios Ambientales