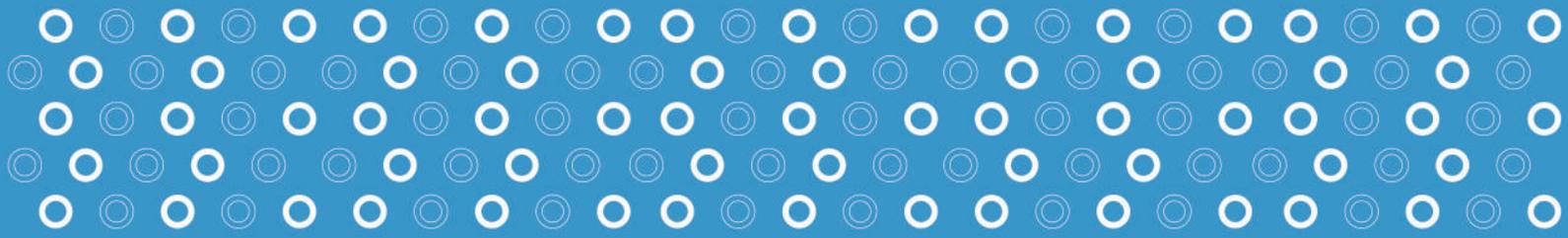




ESTADO Y TENDENCIAS DE LA CALIDAD DEL AIRE DEL ESTADO DE QUERÉTARO

AÑO 2024





Informe Anual

Estado y Tendencias de la Calidad del Aire del Estado de Querétaro

Año 2024



Centro de Monitoreo de la Calidad de Aire del Estado de Querétaro

Directorio

Mauricio Kuri González

Gobernador Constitucional del Estado de Querétaro

Marco Antonio del Prete Tercero

Secretario de Desarrollo Sustentable

Ricardo Javier Torres Hernández

Subsecretario de Medio Ambiente

Teófilo Mario Gómez Su

Director de Control Ambiental

Elaborado por:

Servicios Ambientales Integrales de Consultoría y Cambio Climático (SACYCC)

D.R. Secretaría de Desarrollo Sustentable del Estado de Querétaro

Blvd. Bernardo Quintana Arriola 204, colonia Carretas C.P. 76050

Querétaro, Querétaro.

www.aire.cemcaq.mx

Marzo 2025.

Contenido

Resumen Ejecutivo	9
I. Antecedentes.....	12
II. Contaminantes criterio.....	14
II.1 Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	14
II.2 Monóxido de carbono (CO)	15
II.3 Ozono (O ₃)	16
II.4 Dióxido de azufre (SO ₂).....	17
II.5 Partículas suspendidas (PM ₁₀ y PM _{2.5})	18
III. Sistema de Monitoreo de la Calidad de Aire del Estado de Querétaro (SMCAQ) ...	20
III.1 Estaciones de monitoreo	20
III.2 Contaminantes criterios medidos por estación de monitoreo	23
IV. Indicadores de calidad del aire y difusión de información.....	23
IV.1 Normas Oficiales Mexicanas de salud ambiental por Contaminantes Criterio	24
IV.2 Índice AIRE Y SALUD (IAS).....	24
IV.3 Publicación de Información de Calidad de Aire	28
V. Tendencias de comportamiento de contaminantes	30
V.1 Dióxido de nitrógeno (NO ₂).....	31
V.2 Monóxido de carbono (CO).....	33
V.3 Ozono (O ₃)	35
V.4 Dióxido de azufre (SO ₂)	37
V.5 Partículas suspendidas menores a 2.5 micrómetros (PM _{2.5})	39
V.6 Partículas suspendidas menores a 10 micrómetros (PM ₁₀).....	41
VI. Análisis de indicadores de calidad del aire.....	43
VI.1. Cumplimiento de Normas Oficiales Mexicanas de salud ambiental.....	43
VI.2 Evaluación del Índice AIRE Y SALUD (IAS)	54
VII. Comportamiento meteorológico.....	70
VII.1 Temperatura.....	70

VII.2 Humedad relativa.....	71
VII.3 Precipitación.....	73
VII.4 Radiación solar	74
VII.5 Viento	76
VIII. Conclusiones.....	78
Referencias	81

Gráficas

Gráfica 1. Dinámica de la población del Estado de Querétaro.	12
Gráfica 2. Estructura del SMCAQ.....	20
Gráfica 3. Comportamiento temporal de NO ₂ durante 2024.....	32
Gráfica 4. Promedios anuales (en ppm) de NO ₂ en el período 2021 - 2024.	33
Gráfica 5. Comportamiento temporal de CO durante 2024.	34
Gráfica 6. Promedios anuales (ppm) de CO en el período 2021 - 2024.....	35
Gráfica 7. Comportamiento temporal de O ₃ , 2024.	36
Gráfica 8. Promedios anuales (ppm) de O ₃ en el período 2021 - 2024.....	37
Gráfica 9. Comportamiento temporal de SO ₂ , 2024.	38
Gráfica 10. Promedios anuales (ppm) de SO ₂ en el período 2021 - 2024.....	39
Gráfica 11. Comportamiento temporal de PM _{2.5} en las estaciones del SMCAQ en 2024. ...	40
Gráfica 12. Promedios anuales (µg/m ³) de PM _{2.5} en el período 2021 - 2024.	41
Gráfica 13. Comportamiento temporal de PM ₁₀ , 2024.....	42
Gráfica 14. Promedios anuales (µg/m ³) de PM ₁₀ período 2021 - 2024.	42
Gráfica 15. Compleción de datos por estación para dióxido de nitrógeno (NO ₂), 2024.....	43
Gráfica 16. Máximo promedio horario (ppm) de dióxido de nitrógeno (NO ₂) por estación, 2024.	44
Gráfica 17. Promedio anual (ppm) de dióxido de nitrógeno (NO ₂) por estación, 2024.....	44
Gráfica 18. Compleción de datos por estación para monóxido de carbono (CO), 2024.....	45
Gráfica 19. Máximo promedio horario (ppm) de monóxido de carbono (CO) por estación, 2024.	46
Gráfica 20. Máximo promedio móvil de 8 horas (ppm) de monóxido de carbono (CO) por estación, 2024.....	46
Gráfica 21. Compleción de datos por estación de ozono (O ₃), 2024.	48
Gráfica 22. Máximo promedio horario de ozono (O ₃) por estación, 2024.	48
Gráfica 23. Máximo promedio móvil de 8 horas de ozono (O ₃) por estación, 2024.....	48
Gráfica 24. Compleción de datos dióxido de azufre (SO ₂) 2022-2024 por estación.....	50

Gráfica 25. Promedio trianual de percentil 99 de máximos diarios horario de dióxido de azufre (SO ₂), 2024.....	50
Gráfica 26. Máximo promedio trianual de 24 horas de dióxido de azufre (SO ₂), 2024.....	50
Gráfica 27. Trimestres con cumplimiento de compleción de datos de partículas PM _{2.5} por estación, 2024.....	51
Gráfica 28. Percentil 99 de promedios de 24 horas de partículas PM _{2.5} por estación, 2024.	52
Gráfica 29. Promedio anual de partículas PM _{2.5} por estación, 2024.....	52
Gráfica 30. Trimestres con cumplimiento de compleción de datos de partículas PM ₁₀ , estación CAP, 2024.	53
Gráfica 31. Percentil 99 de promedios de 24 horas de partículas PM ₁₀ , estación CAP, 2024.	54
Gráfica 32. Promedio anual de partículas PM ₁₀ , estación CAP, 2024.	54
Gráfica 33. Porcentaje de horas por banda IAS de dióxido de nitrógeno (NO ₂), 2024.....	55
Gráfica 34. Calendario IAS de dióxido de nitrógeno (NO ₂) en la ZMQ, 2024.....	56
Gráfica 35. Calendario IAS de dióxido de nitrógeno (NO ₂) en SJU, 2024.....	56
Gráfica 36. Número de días conforme al rango de IAS por NO ₂ , 2024.	57
Gráfica 37. Porcentaje de horas por banda IAS por monóxido de carbono (CO), 2024.	57
Gráfica 38. Calendario IAS de monóxido de carbono (CO) en la ZMQ, 2024.....	58
Gráfica 39. Calendario IAS de monóxido de carbono (CO) en SJU, 2024.....	58
Gráfica 40. Número de días con banda IAS de CO, 2024.	59
Gráfica 41. Porcentajes por banda IAS por ozono (O ₃), 2024.	59
Gráfica 42. Calendario IAS de ozono (O ₃) en la ZMQ. Año 2024.....	60
Gráfica 43. Calendario IAS de ozono (O ₃) en SJU. Año 2024.....	60
Gráfica 44. Número de días por banda IAS de O ₃ , 2024.	61
Gráfica 45. Porcentajes de horas en banda IAS por dióxido de azufre (SO ₂), 2024.....	61
Gráfica 46. Calendario IAS de dióxido de azufre (SO ₂) en la ZMQ. Año 2024.....	62
Gráfica 47. Calendario IAS de dióxido de azufre (SO ₂) en SJU. Año 2024.....	62
Gráfica 48. Número de días por banda cromática IAS de SO ₂ , 2024.	63
Gráfica 49. Porcentajes por banda IAS por partículas PM _{2.5} , 2024.	63
Gráfica 50. Calendario IAS de partículas PM _{2.5} en la ZMQ, 2024.	64
Gráfica 51. Calendario IAS de partículas PM _{2.5} en SJU, 2024.....	64
Gráfica 52. Número de días por banda cromática IAS de PM _{2.5} , 2024.	65
Gráfica 53. Porcentajes de horas en banda IAS por partículas PM ₁₀ , 2024.	65
Gráfica 54. Calendario IAS de partículas PM ₁₀ , 2024.	66
Gráfica 55. Número de días por banda IAS de partículas PM ₁₀ , 2024.	66
Gráfica 56. Porcentajes de horas por banda IAS combinado por ciudad. Año 2024.	67
Gráfica 57. Calendario IAS combinado de la ZMQ. Año 2024.....	68

Gráfica 58. Calendario IAS combinado de SJU. Año 2024.....	69
Gráfica 59. Número de días por banda IAS combinado por zona, 2024.....	69
Gráfica 60. Medias, máximos y mínimos diarios de temperatura (°C) en la ZMQ. 2024.....	70
Gráfica 61. Promedios por hora del día de temperatura (°C) ZMQ, 2024.....	71
Gráfica 62. Medias, máximos y mínimos diarios de humedad relativa (%) en ZMQ, 2024.....	72
Gráfica 63. Promedios por hora del día de humedad relativa (%) ZMQ, 2024.....	73
Gráfica 64. Precipitación mensual acumulada (mm), ZMQ, 2024.....	73
Gráfica 65. Acumulado diario de precipitación pluvial en la ZMQ, 2024.....	74
Gráfica 66. Acumulado anual de precipitación por hora del día (mm) ZMQ, 2024.....	74
Gráfica 67. Promedios y máximos diarios de radiación solar en ZMQ, 2024.....	75
Gráfica 68. Promedios por hora del día de radiación solar (W/m ²) en ZMQ, 2024.....	76

Ilustraciones

Ilustración 1. Ficha resumen del dióxido de nitrógeno (NO ₂).....	15
Ilustración 2. Ficha resumen del monóxido de carbono (CO).....	16
Ilustración 3. Ficha resumen del ozono (O ₃).	17
Ilustración 4. Ficha resumen del dióxido de azufre (SO ₂).	17
Ilustración 5. Ficha resumen de las partículas suspendidas (PM ₁₀ y PM _{2.5}).....	19
Ilustración 6. Categorías establecidas para el IAS en la NOM-172-SEMARNAT-2023.	24
Ilustración 7. Imágenes de página web http://aire.cemcaq.mx	28
Ilustración 8. Perfil @CeMCAQ en la red social X.	29
Ilustración 9. Aplicación móvil AmbienteQro.....	30
Ilustración 10. Aspecto de la página web del SINAICA.....	30

Mapas

Mapa 1. Distribución de población en el Estado.....	13
Mapa 2. Ubicación de las estaciones del SMCAQ.	21
Mapa 3. Promedios anuales (ppb) de NO ₂ , 2024.....	32
Mapa 4. Promedios anuales (ppm) de CO, 2024.....	34
Mapa 5. Promedios anuales (ppb) de O ₃ , 2024.....	36
Mapa 6. Promedios anuales (ppb) de SO ₂ , 2024.....	38
Mapa 7. Promedios anuales (µg/m ³) de PM _{2.5} , 2024.....	40
Mapa 8. Rosas de viento por estación en ZMQ, 2024.	77

Tablas

Tabla 1. Municipios con mayor cantidad de población.....	13
Tabla 2. Imágenes de las estaciones de monitoreo del SMCAQ.	22
Tabla 3. Contaminantes criterios medidos en cada estación del SMCAQ, 2024.	23
Tabla 4. Normas Oficiales Mexicanas en materia de salud ambiental por contaminante	24
Tabla 5. Rangos IAS NOM-172-SEMARNAT-2019.....	25
Tabla 6. Rangos para IAS, NOM-172-SEMARNAT-2023.....	26
Tabla 7. Recomendaciones por grupo de población, NOM-172-SEMARNAT-2023.	27
Tabla 8. Resultados de cumplimiento de la NOM-023-SSA1-2021 del dióxido de nitrógeno (NO ₂), 2024.....	44
Tabla 9. Resultados de cumplimiento de la NOM-021-SSA1-2021 de monóxido de carbono (CO), 2024.	47
Tabla 10. Resultados de cumplimiento de la NOM-020-SSA1-2021 de ozono (O ₃), 2024..	49
Tabla 11. Resultados de cumplimiento de la NOM-022-SSA1-2019 de dióxido de azufre (SO ₂), 2024.	51
Tabla 12. Resultados de cumplimiento NOM-025-SSA1-2021 de partículas PM _{2.5} , 2024. ..	52
Tabla 13. Resultados de cumplimiento NOM-025-SSA1-2021 de partículas PM ₁₀ , 2024....	54
Tabla 14. Análisis mensual de temperatura en ZMQ, 2024.	71
Tabla 15. Análisis mensual de humedad relativa en la ZMQ, 2024.	72
Tabla 16. Análisis mensual de radiación solar en la ZMQ, 2024.	76

Acrónimos

CAP	Estación de monitoreo Carrillo Puerto
CO	Monóxido de carbono
COR	Estación de monitoreo Corregidora
EPG	Estación de monitoreo Epigmenio González
FEO	Estación de monitoreo Félix Osos
IAS	Índice Aire y Salud
JOV	Estación de monitoreo Josefa Vergara
LMP	Límite Máximo Permisible
NO₂	Dióxido de nitrógeno
NOM	Norma Oficial Mexicana
O₃	Ozono
PM₁₀	Partículas menores a 10 micras
PM_{2.5}	Partículas menores a 2.5 micras
ppb	Partes por billón
ppm	Partes por millón
SGC	Sistema de Gestión de Calidad
SJU	San Juan del Río
SMCAQ	Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire del estado de Querétaro
SO₂	Dióxido de azufre
µg/m³	Microgramos por metro cúbico
ZMQ	Zona Metropolitana de Querétaro

Resumen Ejecutivo

El Gobierno del Estado de Querétaro a través de la Secretaría de Desarrollo Sustentable continua con el compromiso de mantener informada a la población sobre la calidad del aire, mediante la operación del Sistema de Monitoreo de Calidad del Aire del Estado de Querétaro (SMCAQ) y el Centro de Monitoreo de Calidad del Aire de Querétaro (CeMCAQ).

En cumplimiento con lo establecido en las Normas Oficiales Mexicanas NOM-156-SEMARNAT-2012 y NOM-172-SEMARNAT-2023, con el monitoreo de seis contaminantes criterio: Ozono (O₃), dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂) y material particulado PM_{2.5} y PM₁₀, con la operación de seis estaciones de monitoreo en Zona Metropolitana de Querétaro (ZMQ) y San Juan del Río (SJU).

Del análisis del año 2024, la tendencia mostrada de los contaminantes NO₂, CO, SO₂ y PM_{2.5} se mantuvo o disminuyeron ligeramente en sus concentraciones anuales respecto a años anteriores. No obstante, el O₃ y las PM₁₀ mostraron una tendencia ascendente.

Los meses de enero a mayo fueron los que presentaron las concentraciones más elevadas, para los meses de julio a octubre las concentraciones registradas fueron las más bajas y durante noviembre y diciembre nuevamente se incrementan las concentraciones.

Sobre el comportamiento por día de la semana, se observó que se tuvo una concentración un poco mayor entre los martes y viernes. El ozono fue la excepción, ya que las mayores concentraciones promedio ocurrieron en sábado y domingo en todas las estaciones.

En el comportamiento por hora del día, el NO₂, CO, partículas PM_{2.5} y PM₁₀ mostraron dos periodos de concentraciones elevadas, uno matutino y uno vespertino. El ozono, presenta solo un periodo de concentraciones más elevadas entre las 13:00 y 17:00 horas. Por su parte, el dióxido de azufre, mostro una mayor concentración cerca de las 11:00 horas en ZMQ y en SJU registro algunas otras horas con concentración más altas entre las 22:00 y 2:00 horas.

Respecto al cumplimiento con las normas oficiales mexicanas (NOM) en materia de salud ambiental para cada contaminante, se resalta el buen desempeño del SMCAQ debido a que en todas las estaciones se superó el porcentaje de datos validos exigida por sus respectivas normas oficiales mexicanas.

En cuanto al cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos se tuvieron los siguientes resultados:

- El dióxido de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO) y dióxido de azufre (SO₂) cumplieron con los LMP en todas las estaciones.

- El ozono (O₃) y partículas PM_{2.5} y PM₁₀ estuvieron arriba del LMP en todas las estaciones en ZMQ y SJU.

Respecto al Índice AIRE Y SALUD (IAS) establecido en la NOM-172-SEMARNAT-2023, la cual indica las condiciones de la calidad del aire de forma horaria a través de rangos de concentración indicados con bandas IAS para cada condición; para el análisis de esta informe se consideraron dos periodos de evaluación, debido a la actualización de la norma en 2023 y entrada en vigor el 23 de julio de 2024, por lo que el primero considerado fue del 1 de enero al 22 de julio evaluado con la NOM-172-SEMARNAT-2019 y el segundo del 23 de julio al 31 de diciembre evaluado con la NOM-172-SEMARNAT-2023. Los resultados del IAS mostrados por contaminantes son:

- El dióxido de nitrógeno (NO₂) se mantuvo en buena calidad del aire y aceptable, con más del 99% de horas con buena calidad del aire y menos del 1% con calidad del aire aceptable. En cuanto a los días en total para ZMQ fueron 25 días en lo que al menos una hora reporto calidad del aire aceptable y en SJU solo 5 días en esta condición, esto en los meses de noviembre y diciembre.
- El monóxido de carbono (CO) tuvo los niveles más bajos, registró buena calidad del aire en todas las horas del año en todas las estaciones.
- El ozono (O₃), registró un incremento de días y horas con mala y muy calidad del aire, alcanzando incluso extremadamente mala durante el mes de mayo. De manera específica se registraron un total 78 días con buena calidad del aire en ZMQ y 157 días en SJU; con 201 días con calidad del aire aceptable en ZMQ y 141 días en SJU; los días con calidad del aire mala o superior fueron 86 días en la ZMQ y 67 días en SJU presentados especialmente en el período de febrero a junio. En cuanto a la cantidad de horas entre el 13 y 21% de las horas del año se registró calidad del aire aceptable; entre el 0.6 y 5.8% de horas con mala calidad del aire o superior.
- El dióxido de azufre (SO₂) la mayor parte del año se mantuvo en buena calidad del aire, presentado elevaciones esporádicas en algunas estaciones. La estación FEO se mantuvo en buena calidad del aire durante todo el año. Las demás estaciones tuvieron horas con calidad del aire aceptable, 0.01% de horas en JOV, hasta 8% de horas en SJU. Sin embargo, también se registraron horas de calidad mala o superior siendo 3 horas del año en la estación COR y 2 horas en la estación SJU. En cuanto al conteo de días por máximo IAS alcanzado, se tuvieron 33 días de calidad del arie aceptable y 1 día con muy mala calidad del arie en ZMQ mientras que en SJU fueron 50 días de calidad del arie aceptable

y 2 días con mala calidad del aire. La mayor de esta condición se presentó en el período de enero a mayo.

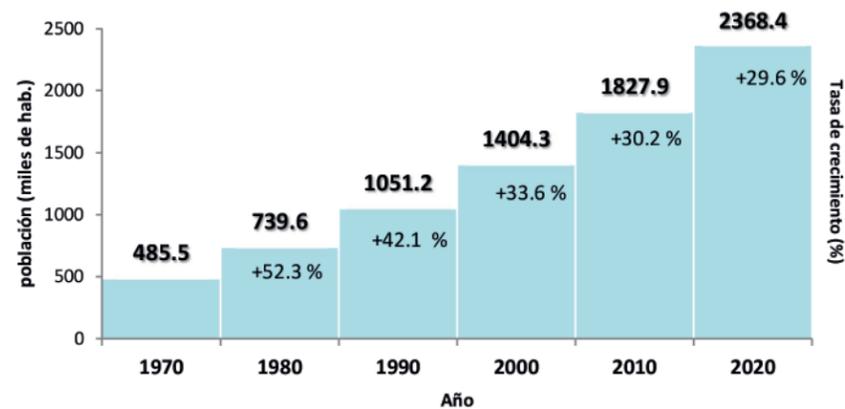
- Las partículas PM_{2.5} registraron entre el 1.1 y 2.3% de horas en calidad mala o superior y entre el 13 y 18% de horas con calidad del aire aceptable. En total para ZMQ se tuvieron 114 días con buena calidad del arie, 173 días con calidad del aire aceptable, 73 días con mala calidad del aire y 4 con muy mala calidad del aire y 1 día con extremadamente mala, este último el 1 de enero; para SJU 192 días con buena calidad del aire, 131 días con calidad del aire aceptable, 38 con mala calidad del aire. La mayor parte de los días con mala calidad del aire se registraron entre febrero y mayo.
- Las partículas PM₁₀ el 13.7% de horas al año tuvieron mala calidad del aire o superior y el 17 % de horas del año en calidad del aire aceptable. En cuanto a los días se registraron 134 días con buena calidad del aire, 46 días con calidad del aire aceptable, 162 días con mala calidad del aire y 19 días con muy mala calidad del aire. Los días con más mala calidad del aire fueron principalmente en los meses de enero y junio.

En cuanto al comportamiento de las variables meteorológicas en la ZMQ se observó que la temperatura media fue 20.7°C con una máxima de 37.9°C en mayo y mínima de 3.9°C en diciembre. La humedad relativa media anual fue de 52%, la máxima anual de 98% y la mínima de 5%. La radiación solar media fue de 214 W/m², la máxima registrada en una hora fue de 983 W/m² en agosto. La precipitación pluvial total acumulada fue de 394.7mm. El mes más lluvioso fue julio, acumulando 149.0mm, los meses de noviembre y marzo no registraron precipitaciones. En cuanto al viento presento dos tendencias, la primera en las estaciones del poniente (CAP y FEO), donde la dirección dominante fue desde el este, alcanzando cerca del 50 % del total de las frecuencias con importantes minorías desde el oeste. La segunda en las estaciones del oriente (EPG y JOV) donde el viento provino mayormente desde la dirección noreste con un importante porcentaje desde el suroeste. La mayor velocidad promedio ocurrió en la estación EPG mientras que las velocidades menores se registraron en COR y FEO.

I. Antecedentes

El Estado de Querétaro se encuentra en una ubicación privilegiada al centro del país, con importantes rutas de comunicación y la cercanía con la Ciudad de México, lo que ha sido un detonante para su crecimiento poblacional y desarrollo económico e industrial.

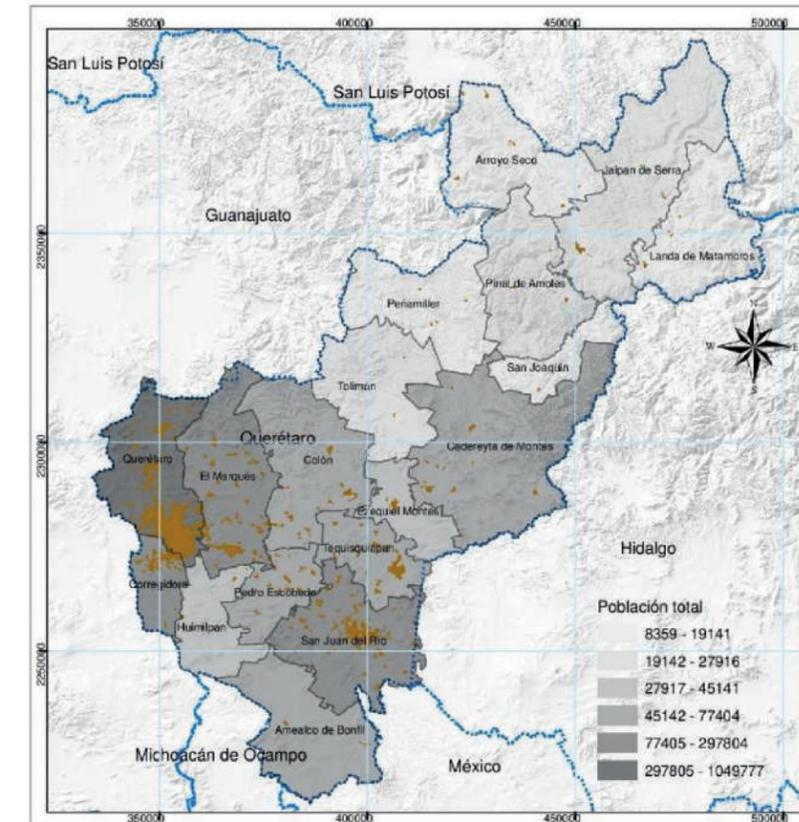
A partir de la década de 1980, ha mantenido las tasas de crecimiento más altas a nivel nacional¹. En la Gráfica 1, se puede apreciar que de 1970 a 1990 la población se duplicó y para el 2020 el incremento quintuplicando la de 1970.



Gráfica 1. Dinámica de la población del Estado de Querétaro.
Fuente: elaboración propia con información INEGI

Sin embargo, el crecimiento en el estado se ha centrado en los municipios del sur, sur oeste del estado (Mapa 1), que de acuerdo con el último censo de población en esta zona se centra el 80% de la población estatal, la cual comprende los municipios que conforman actualmente la Zona Metropolitana de Querétaro ZMQ y otros municipios como San Juan del Río y Tequisquiapan (Tabla 1).

¹ Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (s. f.). Querétaro. Recuperado 16/12/24 <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/queret/poblacion/dinamica.aspx?tema=me>



Mapa 1. Distribución de población en el Estado.
Fuente: INEGI, 2020.

Tabla 1. Municipios con mayor cantidad de población

Municipio	Habitantes	% de población Estatal
Querétaro	1,049,777	44.3%
San Juan del Río	297,804	12.6%
El Marqués	231,668	9.8%
Corregidora	212,567	9.0%
Huimilpan	36,808	1.6%
Tequisquiapan	72,201	3.0%
Otros municipios	467,642	19.7%
Total	2,368,467	100.0%

Fuente: Elaboración propia con datos INEGI, 2020

En este contexto y considerando lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-156-SEMARNAT-2012² establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad de aire, en la cual se especifican los sitios donde es necesario contar con un sistema de monitoreo de calidad del aire, de acuerdo a determinadas características como son:

- Asentamientos de más de quinientos mil habitantes.
- Zonas metropolitanas.
- Asentamientos humanos con emisiones superiores a veinte mil toneladas anuales de contaminantes criterio primarios a la atmósfera.
- Conurbaciones.
- Actividad industrial que por sus características se requiera del establecimiento de estaciones de monitoreo de la calidad del aire.

Conforme a lo anterior, en el estado de Querétaro se identifican a la Zona Metropolitana de Querétaro (ZMQ) y a San Juan del Río donde es necesario contar con sistemas de monitoreo de calidad del aire para cumplir con la Norma Oficial Mexicana NOM-156-SEMARNAT-2012, es por ello por lo que, se estableció el Sistema de Monitoreo de calidad del Aire del Estado de Querétaro (SMCAQ) que cubre las ZMQ y San Juan del Río.

II. Contaminantes criterio

Los contaminantes criterio, son aquellos contaminantes normados a los que se les han establecido un límite máximo de concentración en el aire ambiente, con la finalidad de proteger la salud humana y asegurar el bienestar de la población.²

II.1 Dióxido de nitrógeno (NO₂)

Es un gas de color pardo – rojizo con un fuerte olor desagradable perteneciente al grupo conocido como “NO_x”. Es liberado al aire desde el escape de vehículos a motor, de la combustión de combustibles fósiles y de algunos procesos industriales. También se produce cuando durante una tormenta eléctrica los rayos entran en contacto con el nitrógeno atmosférico, transformándolo. En la atmósfera este contaminante reacciona con otras sustancias, llevando entre otros, a la formación de smog, ozono o lluvia ácida. La población en general suele estar expuesta a este contaminante, aumentando su exposición aquellas personas que viven cerca de plantas de energía o de grandes y transitadas avenidas, así

² DOF 16/07/2012. NOM-156-SEMARNAT-2012. Establecimiento y operación e Sistemas de Monitoreo de Calidad del Aire.

como incluso aquellos que son fumadores (al fumar, el cigarro desprende una cantidad considerable del contaminante). Entre sus efectos a la salud está la irritación de ojos y mucosas, sensación de falta de aliento, daño a los tejidos internos³. El resumen general de los efectos del contaminante puede observarse en la ilustración 1.



Ilustración 1. Ficha resumen del dióxido de nitrógeno (NO₂).

II.2 Monóxido de carbono (CO)

Es un gas incoloro, sin olor ni sabor y no irritante. Se produce por la combustión incompleta del carbono. Es muy estable, llegando a permanecer hasta 2 meses en aire ambiente. Proviene tanto de fuentes naturales como antropogénicas, entre las que están el escape de vehículos automotores, quema de combustibles en estufas, humo de tabaco, incendios y procesos industriales como fabricación de anhídrido acético, policarbonatos, ácido acético y policetona. Las personas expuestas a este contaminante pueden presentar síntomas diversos como dolor de cabeza, náuseas, vómitos, mareos, visión borrosa, confusión, dolor de pecho, fallas cardíacas, dolor de cabeza, dificultad para respirar, convulsiones y coma⁴. Los efectos resumidos y principales fuentes de este contaminante pueden observarse en la ilustración 2.

³ Óxidos de nitrógeno (monóxido de nitrógeno, dióxido de nitrógeno, etc.) (Nitrogen Oxides) | ToxFAQ | ATSDR. (s. f.). https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts175.html

⁴ ToxFAQsTM: (Carbon monoxide)|ToxFAQ|ATSDR. (s. f.). https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts201.html



Ilustración 2. Ficha resumen del monóxido de carbono (CO).

II.3 Ozono (O₃)

Este compuesto se considera un contaminante cuando se encuentra en la capa más baja de la atmósfera terrestre: la tropósfera. En esta zona, desde la segunda mitad del siglo XXI han aumentado, entre otros, las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles (COV), metano (CH₄) y monóxido de carbono (CO) cantidades sin precedentes. La luz solar actúa sobre dichos precursores ya mencionados provocando la formación de compuestos conocidos como oxidantes fotoquímicos donde el más importante por su abundancia, toxicidad y reactividad es el ozono (O₃). Este contaminante causa daños en los ecosistemas y en la salud. En la vegetación se pueden observar efectos como lesiones foliares, reducciones en cosechas y crecimiento de plantas. En daños a la salud humana se presentan sobre todo dificultades respiratorias en personas sensibles, reducción en la función pulmonar, asma, reacciones inflamatorias de pulmón, disminución inmunológica entre otros⁵. A continuación, se muestra el resumen de los efectos de este contaminante:

⁵ Ozono troposférico. (s. f.). European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/es/publications/92-828-3351-8/page005.html>



Ilustración 3. Ficha resumen del ozono (O₃).

II.4 Dióxido de azufre (SO₂)

En un gas incoloro, irritante y con un olor penetrante. Sus principales fuentes de emisión son la combustión de sustancias derivadas del petróleo, quema de carbón en centrales eléctricas, la industria papelera y alimentaria y algunas fuentes naturales como volcanes e incendios. El dióxido de azufre se transporta a grandes distancias por su estabilidad y también cuando entra en contacto con otros oxidantes, se transforma en lluvia ácida y en sulfatos (aportando también a la contaminación por partículas suspendidas). Sus efectos en la salud son muchos y variados entre los que se enumeran dificultades respiratorias, inflamación pulmonar, irritación de ojos y mucosas, daños en el corazón y el sistema circulatorio, daños en la piel⁶. Sus efectos son resumidos en la siguiente ilustración.



Ilustración 4. Ficha resumen del dióxido de azufre (SO₂).

⁶ Instituto para la Salud Geoambiental. (2024, 2 abril). El dióxido de azufre SO₂ - Instituto para la Salud Geoambiental. Instituto Para la Salud Geoambiental. <https://www.saludgeoambiental.org/dioxido-azufre-so2/>

II.5 Partículas suspendidas (PM₁₀ y PM_{2.5})

Las partículas suspendidas son una mezcla de elementos sólidos y líquidos de tamaño microscópico que flotan en el aire con una composición de amplio espectro y procedencia como orgánica e inorgánica. Entre las fuentes naturales de las partículas están el polvo, polen, actividad volcánica y las ventiscas. En cuanto al origen antropogénico están actividades como el arado y cosecha de productos agrícolas, la combustión debida a vehículos automotores, procesos industriales y estufas domésticas; actividades de la industria de la construcción incineración de residuos, generación de energía, reacciones de formación de contaminantes secundarios, entre algunos otros.

Se diferencian actualmente en tres grupos determinados por su diámetro aerodinámico: ultrafinas, finas y gruesas. Las ultrafinas, también conocidas como **PM₁** por su tamaño inferior a 1 µm, son las partículas más peligrosas debido a penetran las infinidades del sistema respiratorio causando daños en todos los niveles. Las finas (**PM_{2.5}**) son peligrosas debido a su tamaño y que proceden en su mayoría de partículas secundarias formadas a partir de contaminantes tóxicos como los NO_x, SO_x, COV, NH₃, entre otros. Por último, las gruesas (**PM₁₀**) contienen a los dos grupos anteriores, pero también a otras fuentes como las naturales, polvo, hollín, polen, tienen menor penetración en el sistema respiratorio, pero no dejan de ser peligrosas para la salud.

Los impactos que tienen a la salud las partículas finas y ultrafinas son mayores, debido a que pueden penetrar muy profundo en los pulmones y entrar al torrente sanguíneo generando problemas respiratorios, cardíacos e incluso carcinogénicos. Las partículas gruesas al penetrar menos profundamente en el sistema respiratorio tienen algunos daños y agravamiento de enfermedades como el asma, aunque muchas son retenidas y expulsadas a través de las mucosas o tos⁷. En la legislación mexicana las partículas PM₁₀ y PM_{2.5} son las que se miden para cuantificar daños a la salud poblacional por lo que en adelante sólo se considerarán a esos dos grupos. Los efectos son resumidos en la siguiente ilustración.



Ilustración 5. Ficha resumen de las partículas suspendidas (PM₁₀ y PM_{2.5}).

⁷ Admin. (2024, 17 julio). Partículas en suspensión. Kunak. <https://kunakair.com/es/particulas-en-suspension/>

III. Sistema de Monitoreo de la Calidad de Aire del Estado de Querétaro (SMCAQ)

El Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire del Estado de Querétaro (SMCAQ), es administrado por la Secretaría de Desarrollo Sustentable del Estado, y considera no solo la operación, mantenimiento y calibración de estaciones de monitoreo, también el respaldo, validación y publicación de información, mediante el siguiente esquema de operación:

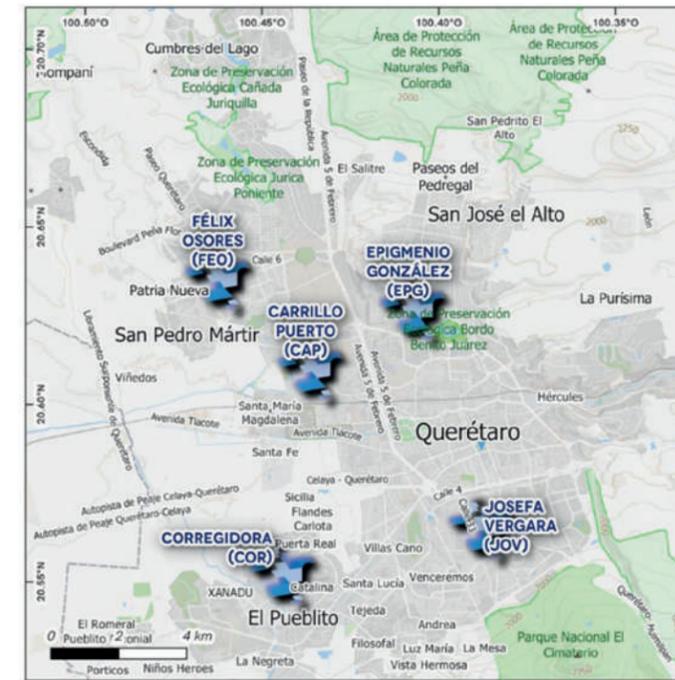


Gráfica 2. Estructura del SMCAQ.

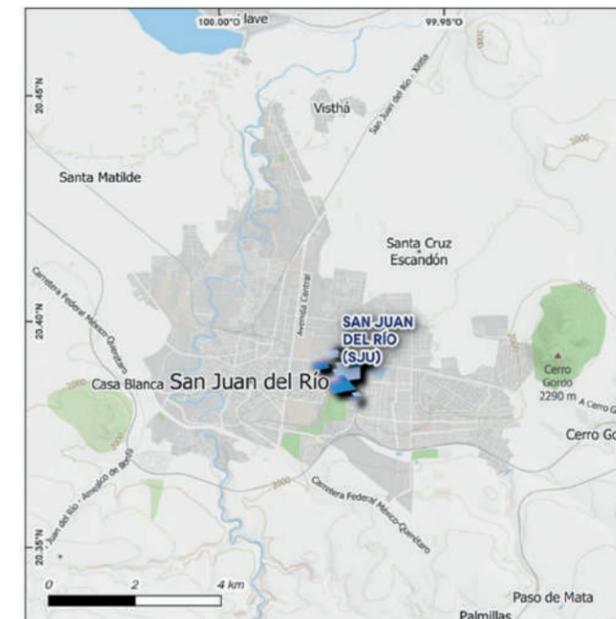
III.1 Estaciones de monitoreo

El SMCAQ cuenta actualmente con 6 estaciones de monitoreo, 5 en la ZMQ y 1 en SJU, y generan información de manera continua las 24 horas de todos los días del año. Estas estaciones se encuentran ubicadas de manera estratégica y cumplen con los lineamientos de la NOM-156-SEMARNAT-2012 establecimiento y operación de Sistemas de Calidad del Aire.

ZONA METROPOLITANA DE QUERÉTARO



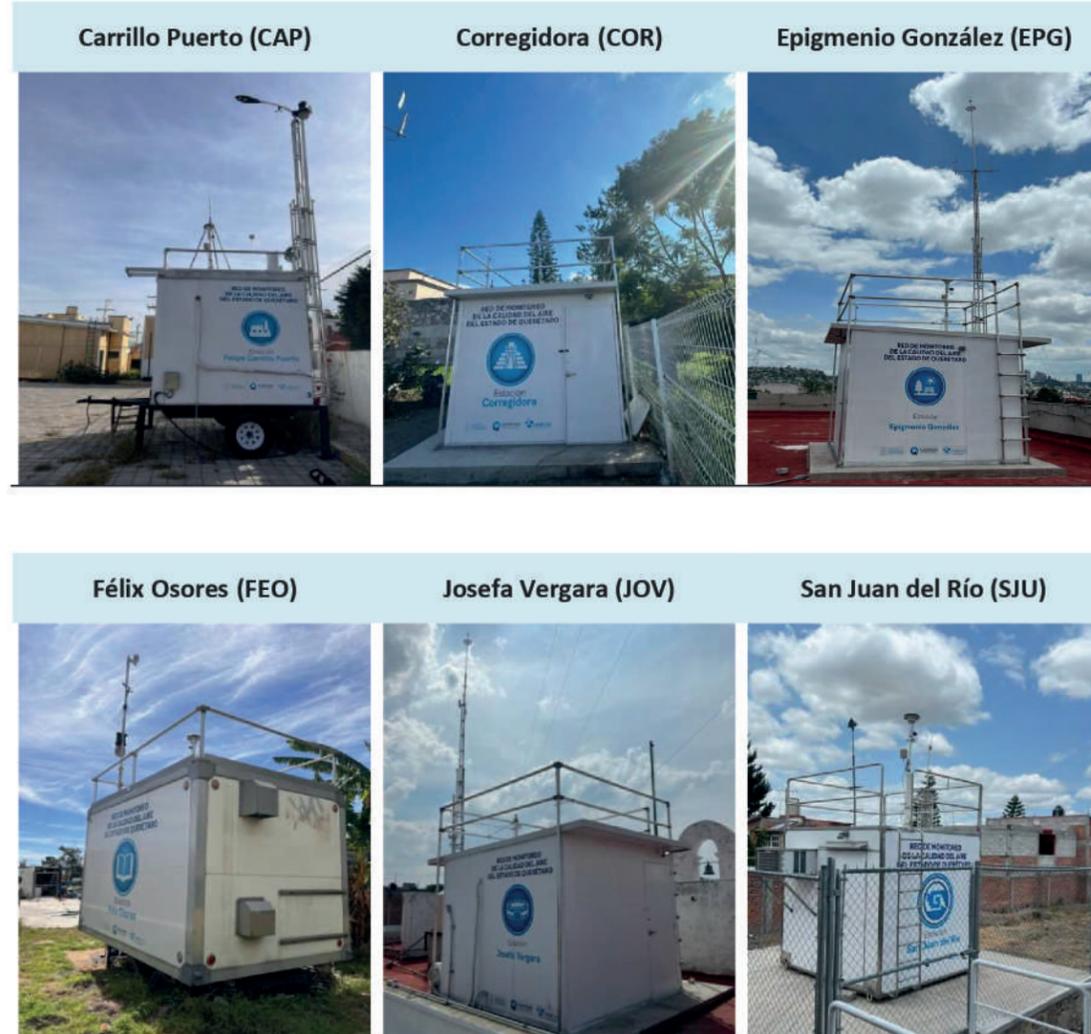
SAN JUAN DEL RÍO



Mapa 2. Ubicación de las estaciones en ZMQ y SJU, SMCAQ.

A continuación, se muestran imágenes de cada una de las estaciones.

Tabla 2. Imágenes de las estaciones de monitoreo del SMCAQ.



III.2 Contaminantes criterios medidos por estación de monitoreo

En el Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire del Estado de Querétaro, se miden todos los contaminantes criterio a excepción del plomo, que no se mide en los Sistemas de Monitoreo a nivel nacional. En la tabla 3 se muestran los contaminantes medidos por estación de monitoreo.

Tabla 3. Contaminantes criterios medidos en cada estación del SMCAQ, 2024.

Contaminante	Estación					
	CAP	COR	EPG	FEO	JOV	SJU
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Monóxido de carbono (CO)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ozono (O ₃)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Dióxido de azufre (SO ₂)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Partículas suspendidas menores a 2.5 micras (PM _{2.5})		✓	✓	✓		✓
Partículas suspendidas menores a 10 micras (PM ₁₀)	✓					

Se mide

No se mide

IV. Indicadores de calidad del aire y difusión de información

Conforme lo establecido las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), se tienen dos indicadores para la calidad del aire, el primero es el establecido en las NOM de salud ambiental, que contienen los valores de concentración máxima permisible de contaminantes atmosféricos en el aire ambiente, especificando además la cantidad mínima de datos requeridos para su evaluación (compleción) y parámetros para validación. El segundo indicador es el establecido en la norma oficial mexicana NOM-172-SEMARNAT-2023 referente a lineamientos para la obtención y comunicación del índice de calidad del aire y riesgos a la salud. A continuación, se presentan los detalles cada uno de estos indicadores.

IV.1 Normas Oficiales Mexicanas de salud ambiental por Contaminantes Criterio

Cada uno de los contaminantes criterio cuenta con una NOM que establece los límites máximos permisibles en aire ambiente y tiempos de exposición, tabla 4.

Tabla 4. Normas Oficiales Mexicanas en materia de salud ambiental por contaminante

Contaminante	Norma Oficial Mexicana	Límites máximos permisibles
Dióxido de nitrógeno (NO₂)	NOM-023-SSA1-2021 ⁸	<ul style="list-style-type: none"> Límite 1 h: 0.106 ppm Límite anual: 0.021 ppm
Monóxido de carbono (CO)	NOM-021-SSA1-2021 ⁹	<ul style="list-style-type: none"> Límite 1 h: 26.0 ppm Límite 8 h: 9.0 ppm
Ozono (O₃)	NOM-020-SSA1-2021 ¹⁰	<ul style="list-style-type: none"> Límite 1 h: 0.090 ppm Límite 8 h: 0.060 ppm
Dióxido de azufre (SO₂)	NOM-022-SSA1-2019 ¹¹	<ul style="list-style-type: none"> Límite 1 h: 0.075 ppm Límite 24 h: 0.04 ppm
Partículas suspendidas menores a 2.5 micras (PM_{2.5})	NOM-025-SSA1-2021 ¹²	<ul style="list-style-type: none"> Límite 24 h: 33 µg/m³ Límite anual: 10 µg/m³
Partículas suspendidas menores a 10 micras (PM₁₀)	NOM-025-SSA1-2021 ¹³	<ul style="list-style-type: none"> Límite 24 h: 60 µg/m³ Límite anual: 28 µg/m³

IV.2 Índice AIRE Y SALUD (IAS)

La Norma Oficial Mexicana NOM-172-SEMARNAT-2023 publicada por primera vez en 2019 como resultado de los esfuerzos para unificar los reportes de calidad del aire a nivel nacional, en la que se establece el Índice AIRE Y SALUD (IAS) considerando cinco categorías:



Ilustración 6. Categorías establecidas para el IAS en la NOM-172-SEMARNAT-2023.

Para cada categoría se establecen recomendaciones según el grupo de población, en su primera versión 2019 la norma consideró dos grupos: 1) grupos sensibles y 2) población en

⁸ DOF, 27/10/2021

⁹ DOF, 29/10/2021

¹⁰ DOF, 28/10/2021

¹¹ DOF, 28/08/2019

¹² DOF, 27/10/2021

¹³ DOF, 27/10/2021

general, para la última versión 2023 considera tres grupos 1) personas con enfermedades respiratorias, 2) menores de 12 años y personas gestantes y 3) población en general.

La escala de categorías es aplicada a cada uno de los contaminantes criterio dependiendo de las concentraciones que reporten durante cada hora todos los días del año. Los rangos para la NOM de 2019 son mostrados en la tabla 5.

Tabla 5. Rangos IAS NOM-172-SEMARNAT-2019.

Contaminante	Tipo (unidades)	Índice AIRE Y SALUD (IAS)				
		Buena	Aceptable	Mala	Muy mala	E mala
NO₂	Horario (ppm)	<0.107	0.108 - 0.210	0.211 - 0.230	0.231 - 0.250	>0.250
CO	Móvil 8 h (ppm)	<8.75	8.76 - 11.00	11.01 - 13.30	13.31 - 15.50	>15.50
O₃	Horario (ppm)	<0.051	0.052 - 0.095	0.096 - 0.135	0.136 - 0.175	>0.175
	Móvil 8 h (ppm)	<0.051	0.052 - 0.070	0.071 - 0.092	0.093 - 0.114	>0.114
SO₂	Móvil 24 h (ppm)	<0.008	0.009 - 0.110	0.111 - 0.165	0.166 - 0.220	>0.220
PM_{2.5}	Ponderado 12 h (µg/m ³)	<25	26 - 45	46 - 79	80 - 147	>147
PM₁₀	Ponderado 12 h (µg/m ³)	<50	51 - 75	76 - 155	156 - 235	>235

En 2023 la NOM-172-SEMARNAT-2019 fue actualizada, esto derivado de la actualización de las NOM en materia de salud ambiental de contaminantes criterio, por lo que el 25 de enero de 2024 se publicó NOM-172-SEMARNAT-2023, que entró en vigor el 23 de julio de 2024, y en la cual se ajustan los valores del IAS quedando como se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Rangos para IAS, NOM-172-SEMARNAT-2023.

Contaminante	Tipo (unidades)	Índice AIRE Y SALUD (IAS)				
		Buena	Aceptable	Mala	Muy mala	E mala
NO ₂	Horario (ppm)	<0.053	0.054 - 0.106	0.107 - 0.160	0.161 - 0.213	>0.213
CO	Móvil 8 h (ppm)	<5.00	5.01 - 9.00	9.01 - 12.00	12.01 - 16.00	>16.00
O ₃	Horario (ppm)	<0.058	0.059 - 0.090	0.091 - 0.135	0.136 - 0.175	>0.175
SO ₂	Horario (ppm)	<0.035	0.036 - 0.075	0.076 - 0.185	0.186 - 0.304	>0.304
PM _{2.5}	Ponderado 12 h (µg/m ³)	<15	16 - 33	34 - 79	80 - 130	>130
PM ₁₀	Ponderado 12 h (µg/m ³)	<45	46 - 60	61 - 132	133 - 213	>213

Como se puede apreciar en las tablas 5 y 6, hubo cambios significativos en los rangos IAS en la actualización de 2023 a continuación, se enlistan los más relevantes:

1. Desaparece el promedio móvil de 8 horas de ozono.
2. El dióxido de azufre pasa de promedio móvil de 24 horas a promedio horario.
3. Las partículas suspendidas (PM₁₀ y PM_{2.5}) pasan a tener rangos progresivos, que serán actualizados en enero de 2026.

Además de ajustes en las recomendaciones para la población, ahora consideran tres grupos de población que son:

- 1) Personas con enfermedades cardiovasculares o respiratorias y mayores de 60 años.
- 2) Menores de 12 años y personas gestantes.
- 3) Población en general.

Las recomendaciones para la última actualización se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 7. Recomendaciones por grupo de población, NOM-172-SEMARNAT-2023.

Índice AIRE Y SALUD	Recomendaciones por grupo de población		
	Personas con enfermedades cardiovasculares o respiratorias y mayores de 60 años	Menores de 12 años y personas gestantes	Población en general
Buena	Disfruta de las actividades al aire libre.		
Aceptable	Es posible realizar actividades físicas ligeras al aire libre. Reduce las actividades físicas vigorosas al aire libre. Si presentas algún síntoma o molestia o tienes dudas, busca consejo médico. Infórmate sobre la evolución de la calidad del aire.	Disfruta de las actividades al aire libre. Infórmate sobre la evolución de la calidad del aire.	
Mala	Reduce las actividades físicas vigorosas al aire libre. Si presentas algún síntoma o molestia o tienes dudas, busca consejo médico. Infórmate sobre la evolución de la calidad del aire.	Es posible realizar actividades físicas ligeras al aire libre. Reduce las actividades físicas vigorosas al aire libre. Si presentas síntomas respiratorios y/o cardíacos, suspende la actividad y acude al médico. Infórmate sobre la evolución de la calidad del aire.	Es posible realizar actividades al aire libre. Si presentas síntomas como tos o falta de aire, toma más descansos y realiza menos actividades vigorosas. Infórmate sobre la evolución de la calidad del aire.
Muy mala	Es posible realizar actividades físicas en espacios interiores. Evita las actividades físicas moderadas y vigorosas, así como el tiempo de estancia al aire libre. Si presentas algún síntoma o molestia o tienes dudas, busca consejo médico. Infórmate sobre la evolución de la calidad del aire.	Reduce las actividades físicas al aire libre y de preferencia realízalas en espacios interiores. Evita la actividad física vigorosa o prolongada al aire libre. Infórmate sobre la evolución de la calidad del aire.	
Extremadamente mala	Permanece en espacios interiores en donde puedas realizar actividades físicas, reprograma tus actividades al aire libre y si presentas síntomas respiratorios y/o cardíacos acude al médico. Infórmate sobre la evolución de la calidad del aire.		

Por lo anterior, se precisa que el análisis presentado en este informe para IAS, se realiza en dos periodos, el primero del 1 enero al 22 de julio de 2024 conforme a la NOM-172-SEMARNAT 2019 y el segundo del 23 de julio al 31 de diciembre de acuerdo a la NOM-172-SEMARNAT-2023.

IV.3 Publicación de Información de Calidad de Aire

Para la difusión de la información de la calidad de aire, se ha puesto a disposición de la población en general, varias plataformas que permiten tener accesibilidad desde cualquier sitio a los datos generados por el SMCAQ las cuales son:

- **Página web (<http://aire.cemcaq.mx>)**

Este es el principal medio de difusión de la información de calidad de aire, en la página web se presenta una tabla donde se reporta el IAS para cada contaminante y estación de manera horaria todos los días del año, así como las recomendaciones a la población asociadas al IAS. También puede consultarse un mapa para revisar esta información por zona. Cuenta adicionalmente con información como la normativa de calidad de aire, los efectos de los contaminantes medidos en la salud, los programas estatales de contingencias y de gestión para mejorar la calidad de aire.

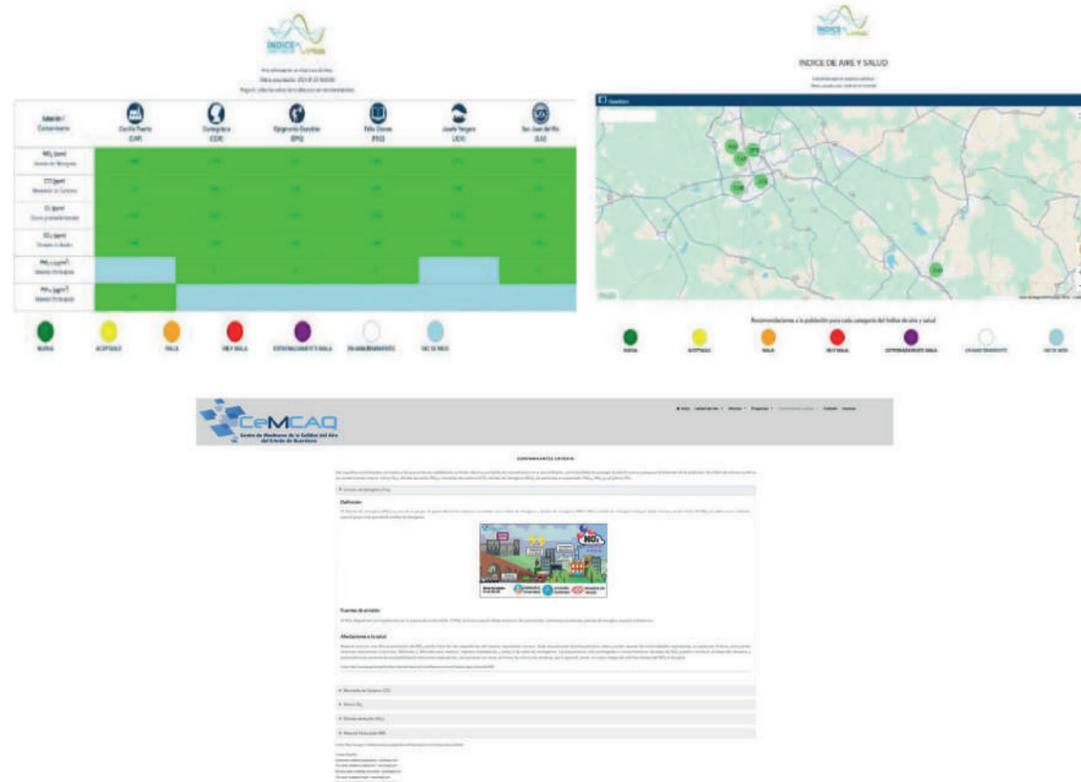


Ilustración 7. Imágenes de página web <http://aire.cemcaq.mx>

- **X (@CeMCAQ)**

La red social X (antes Twitter) es otro de los medios de difusión. En esta plataforma se publica de manera regulara tres veces al día y de manera horaria durante episodios de altas concentraciones, de lunes a viernes durante todo el año. El reporte que se publica indica el IAS en cada estación, así como las recomendaciones asociadas a la calidad del aire que se tenga en ese momento, conforme lo establecido en la NOM-172-SEMARNAT-2023.

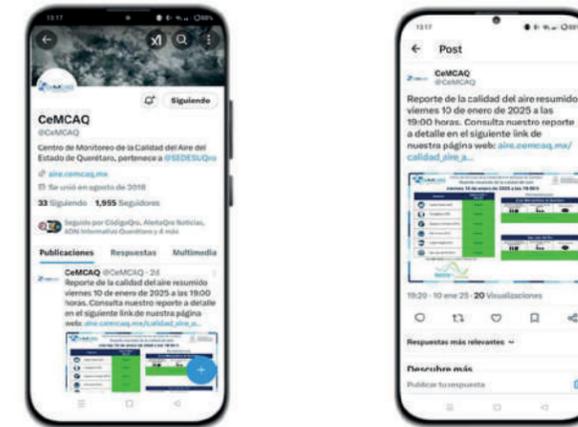


Ilustración 8. Perfil @CeMCAQ en la red social X.

- **Aplicación móvil (AmbienteQro)**

Esta aplicación disponible para dispositivos Android descargable desde la Play Store de Google. Cuenta con la información de calidad de aire por estación actualizada en cada hora, así como una tabla con los indicadores por cada estación y contaminante. Adicionalmente cuenta con un apartado para trámites de verificación vehicular y otro con información meteorológica por municipio.



Ilustración 9. Aplicación móvil AmbienteQro.

● **Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA)**

El SINAICA es administrado por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), su objetivo es agrupar la información generada por cada Sistema de Monitoreo de la Calidad de Aire a nivel nacional en un solo sitio. Esto permite la consulta de todas los Sistemas del país de forma rápida y sencilla. También incluye almanaques de información nacional y bases de datos históricas para consulta y descarga.

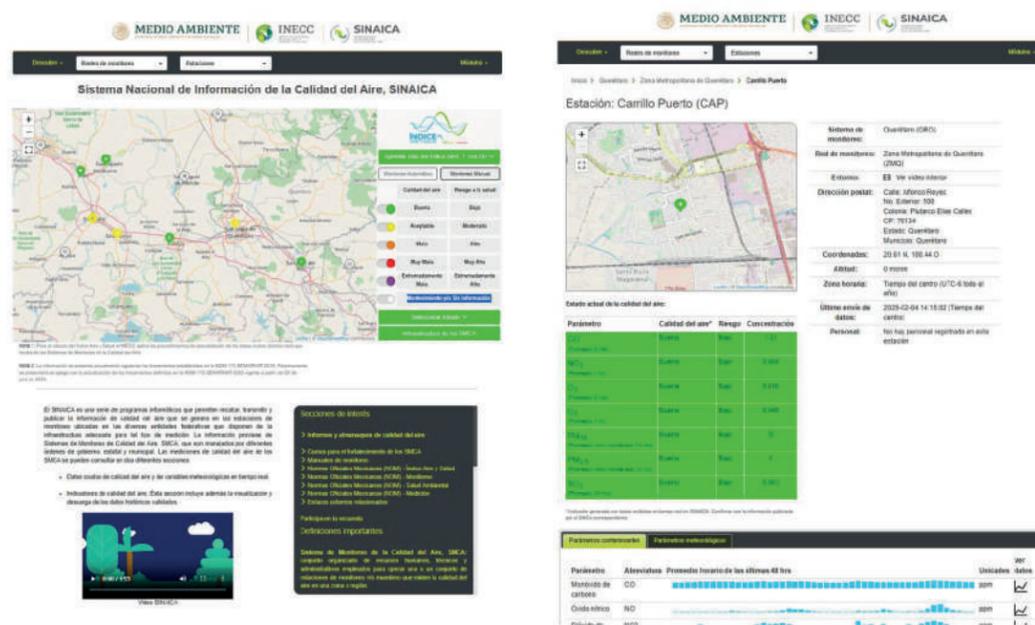


Ilustración 10. Aspecto de la página web del SINAICA.
<https://sinaica.inecc.gob.mx>

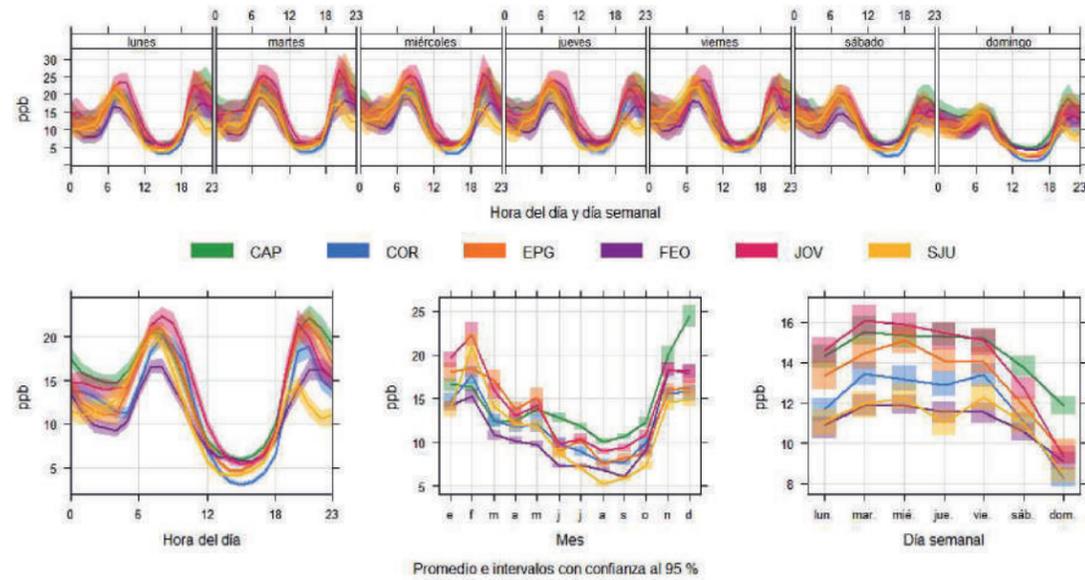
V. Tendencias de comportamiento de contaminantes

Antes de entrar en la evaluación normativa de contaminantes, se realiza el análisis de tendencias de las concentraciones por contaminante, mostrando el comportamiento horario, diario, mensual y anual; lo que permite visualizar e identificar las zonas, épocas y días en el año donde se presentaron mayores o menores concentraciones, permitiendo identificar patrones, además de la relación que se tiene con las condiciones meteorológicas.

A continuación, se presenta el análisis descrito para cada contaminante monitoreado.

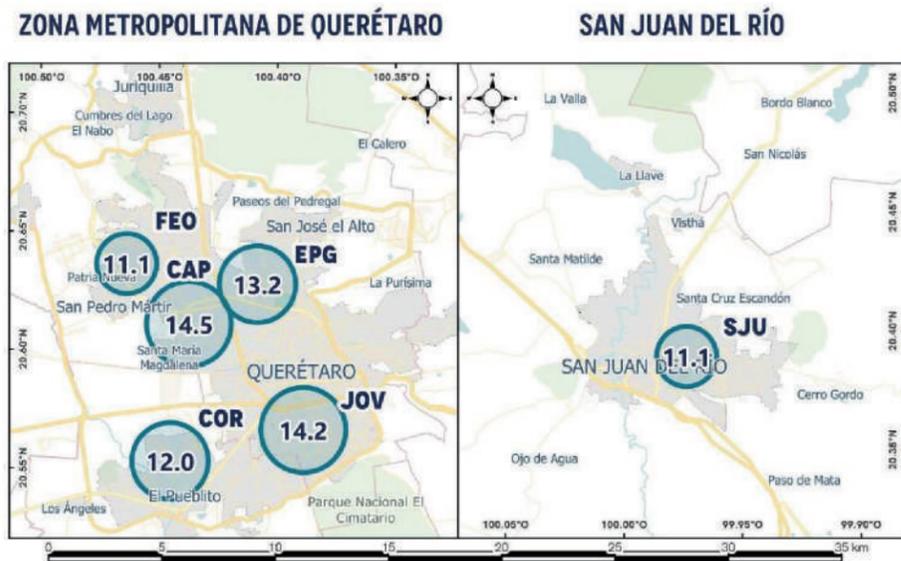
V.1 Dióxido de nitrógeno (NO₂)

Para comenzar el análisis de este contaminante, se muestra el comportamiento temporal durante el 2024. En cuanto a la hora del día, se observa en todas las estaciones un incremento de concentraciones durante la mañana (entre 7:00 y 10:00 horas) y por la tarde – noche (de 19:00 a 21:00 horas). Por el contrario, el período con menor concentración es entre las 12:00 y 18:00 horas. En los promedios mensuales, la época con mayor concentración de NO₂ fue la época fría (enero – febrero y noviembre – diciembre) donde se llegó a presentar calidad del aire aceptable. La época de menor concentración promedio fue la lluviosa (julio – octubre) donde la buena dispersión y la lluvia disminuyeron los promedios por debajo de las 10ppb en todas las estaciones. La estación CAP fue la que reporto mayores promedios mensuales mientras que FEO fue la estación que registró los menores promedios mensuales. Por último, los días entre semana (lunes a viernes) registraron las mayores concentraciones, principalmente entre martes y jueves. Durante los fines de semana la concentración disminuyó significativamente. Gráfica 3.



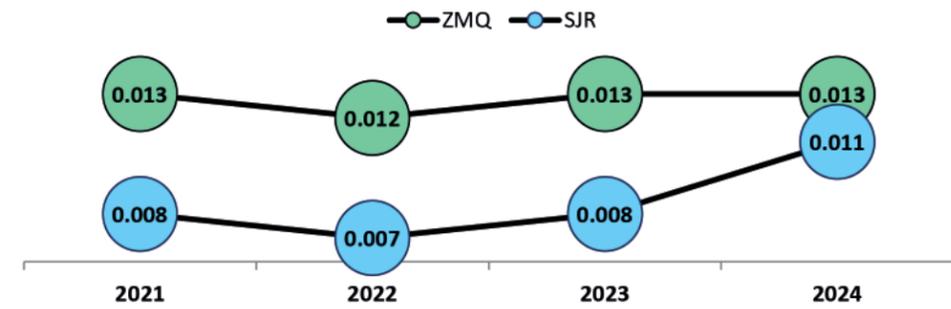
Gráfica 3. Comportamiento temporal de NO₂ durante 2024.

En cuanto a las zonas con mayores concentraciones, en el mapa 3, se observa el promedio anual de concentración en cada estación, donde se puede observar que las estaciones con mayor promedio anual fueron CAP, EPG y JOV.



Mapa 3. Promedios anuales (ppb) de NO₂, 2024.

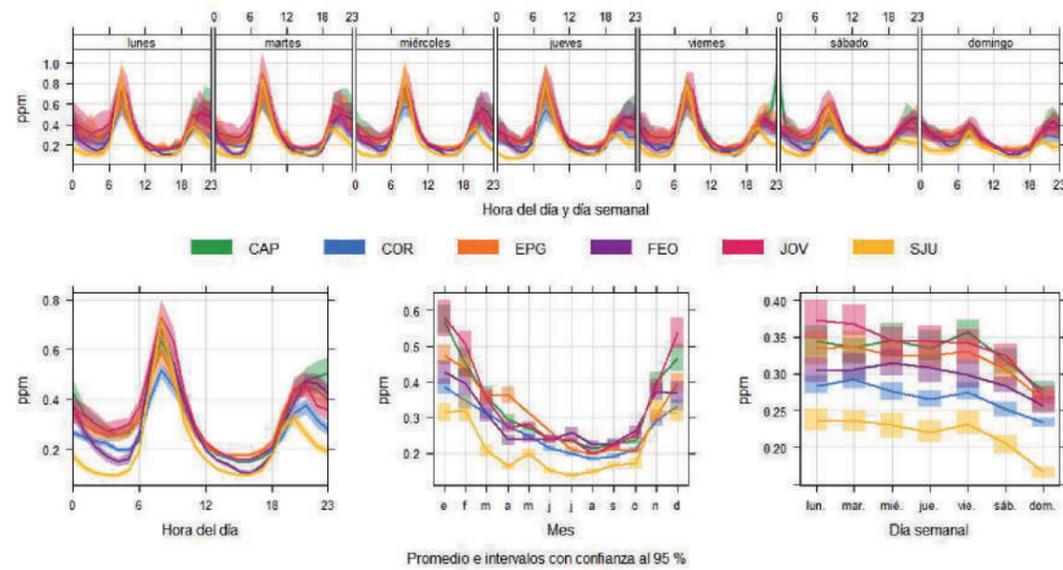
En cuanto a la evolución de las concentraciones anuales de NO₂ en la gráfica 4, se aprecia que en el caso de la ZMQ los promedios se han mantenido constantes desde el 2021, mientras que en SJU se mantuvo constante de 2021 a 2023, incrementándose ligeramente en 2024.



Gráfica 4. Promedios anuales (en ppm) de NO₂ en el período 2021 - 2024.

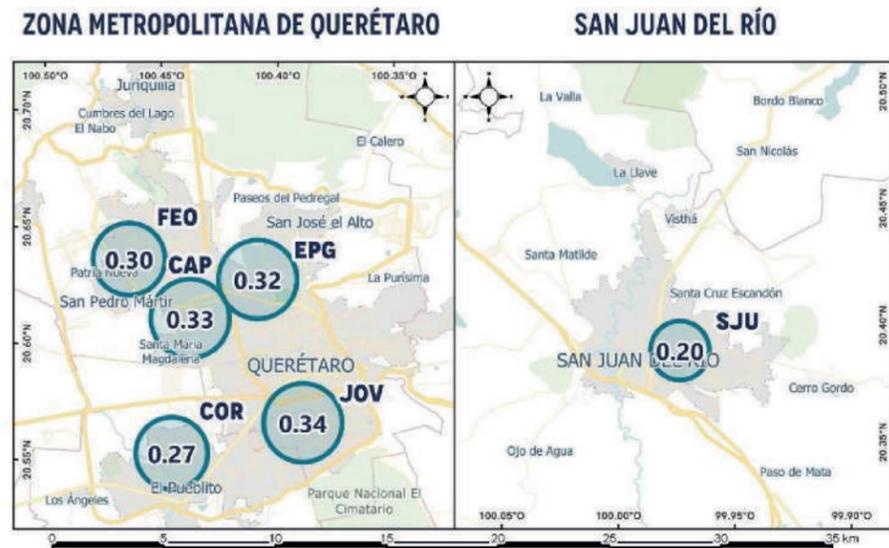
V.2 Monóxido de carbono (CO)

El monóxido de carbono en promedio horario por día muestra concentraciones más elevadas durante la mañana alrededor de las 8:00 horas y las menores concentraciones entre las 12:00 y 18:00 horas. En el análisis de las medias mensuales el período de frío fue el que registró concentraciones más altas y el periodo de lluvias fue el que tuvo menores concentraciones. En cuanto los días de la semana con mayor concentración fueron entre semana (lunes a viernes). Gráfica 5.



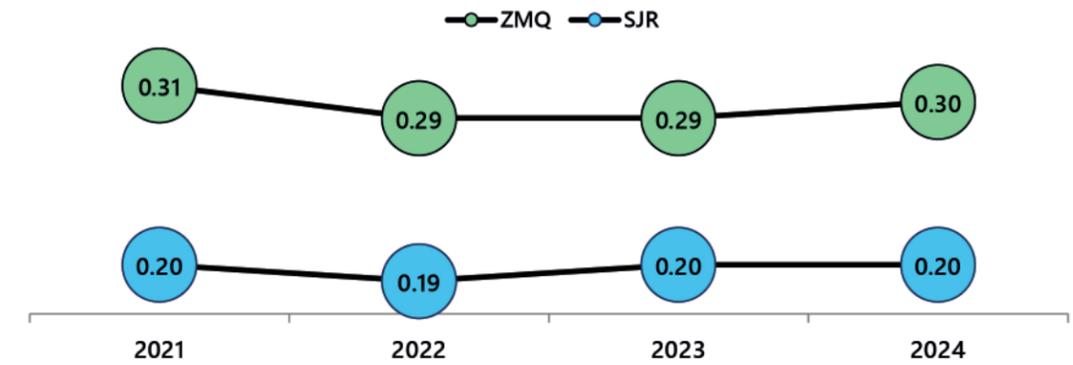
Gráfica 5. Comportamiento temporal de CO durante 2024.

En el mapa 4 se muestra el promedio anual en ppm de CO por estación, observándose que las estaciones EPG, CAP y JOV registraron el promedio anual más alto y SJU el más bajo.



Mapa 4. Promedios anuales (ppm) de CO, 2024.

En la gráfica 6 se observa el promedio anual por zona, observando un ligero incremento en la ZMQ en 2024 respecto a 2023, mientras que en SJU se mantuvo igual a 2023. Asimismo, es de resaltar que el comportamiento ha sido constante con una variación de ± 0.02 ppm en el período 2021 a 2024.

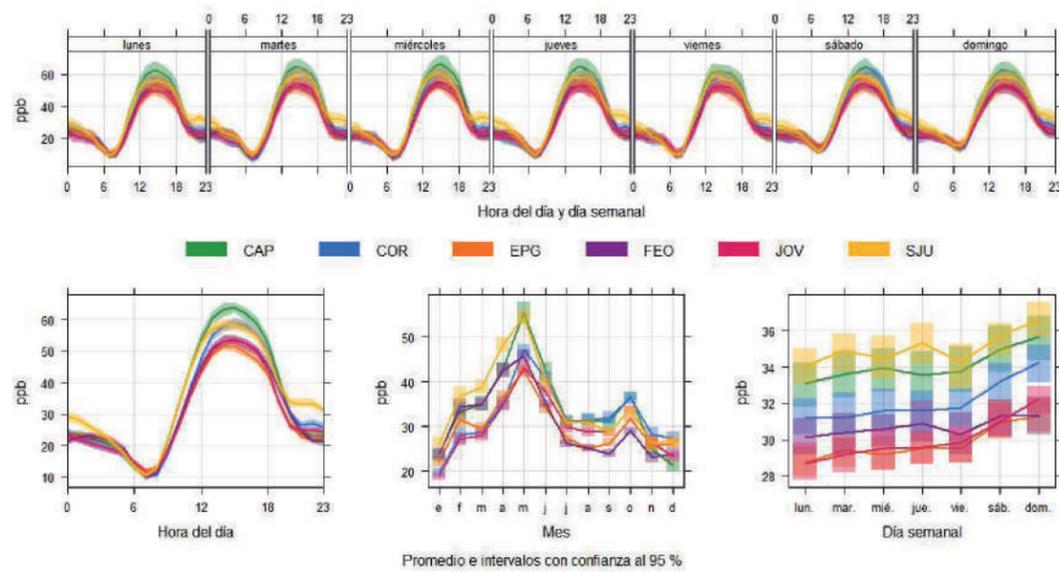


Gráfica 6. Promedios anuales (ppm) de CO en el período 2021 - 2024.

V.3 Ozono (O₃)

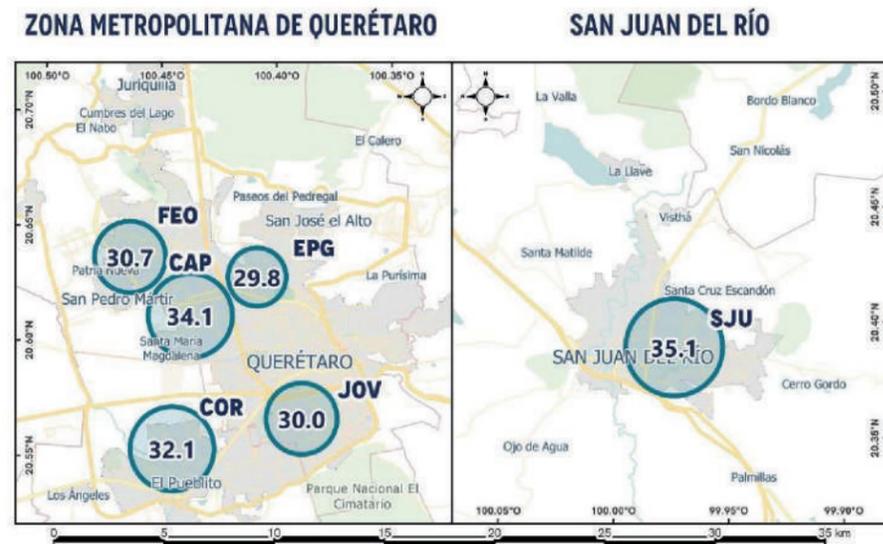
Para el análisis de O₃, se resalta que es un contaminante secundario, es decir, no se emite de manera directa, sino más bien se genera en la atmósfera debido a la reacción con otros contaminantes primarios como óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles, así como por la radicación solar.

Por lo anterior, el comportamiento del ozono conforme al análisis de horas por día se observa que los mayores promedios se registran entre las 12:00 y las 18:00 horas cuando se alcanza la mayor radiación solar, obteniendo el valor más alto entre las 15:00 y las 16:00 horas y los más bajos entre las 7:00 y 8:00 horas. Respecto a los promedios mensuales, la época de mayor concentración fueron los meses de abril a junio, donde se registra la mayor radiación solar. En cuanto al análisis de promedios por día de la semana, se observa un ligero incremento en fin de semana. Gráfica 7.



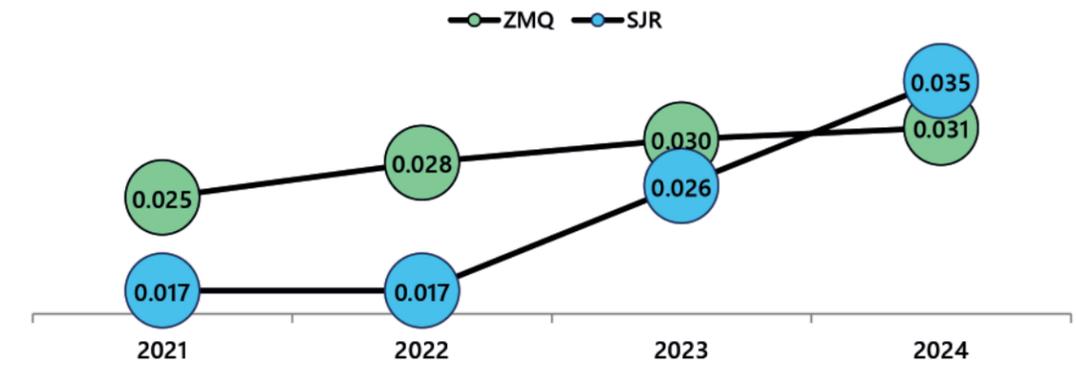
Gráfica 7. Comportamiento temporal de O₃, 2024.

En cuanto a los resultados anuales, en el mapa 5 se presenta el promedio anual de ozono por estación, mostrando que en ZMQ estuvo entre los 30 y 34ppb, siendo la estación CAP la que tuvo el mayor promedio anual, en cuanto a SJU se observa un promedio mayor, 1ppb más alto respecto a las estaciones de ZMQ.



Mapa 5. Promedios anuales (ppb) de O₃, 2024.

En cuanto al comportamiento anual de cada zona, se observan una tendencia al alza tanto en la ZMQ como en SJU. En la ZMQ ha ido aumentando paulatinamente, en cambio, SJU muestra un aumento más agresivo en los últimos dos años. Gráfica 8.



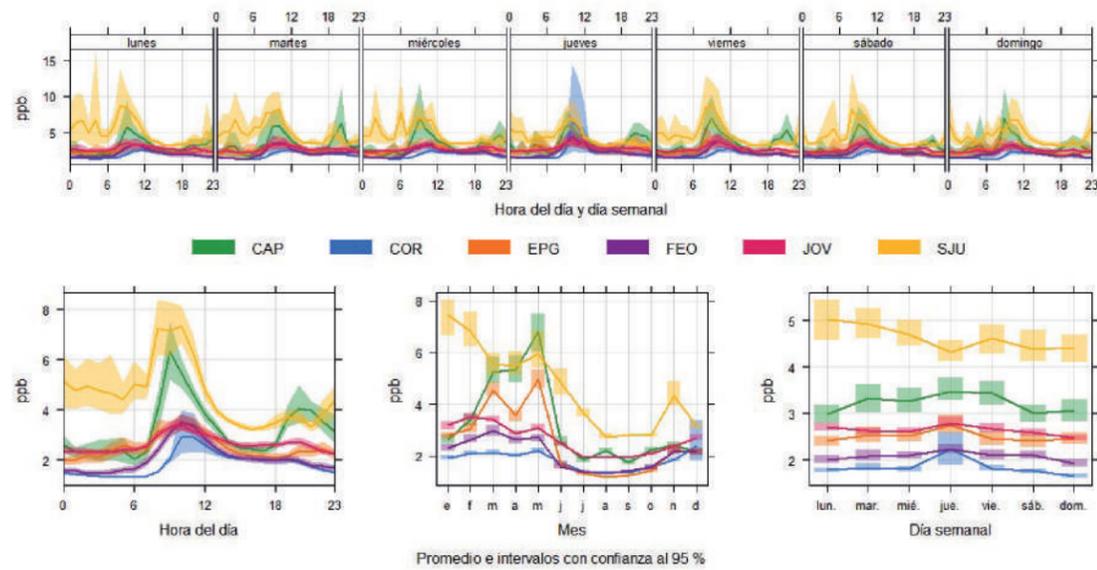
Gráfica 8. Promedios anuales (ppm) de O₃ en el período 2021 - 2024.

V.4 Dióxido de azufre (SO₂)

El dióxido de azufre en los promedios horarios muestra un comportamiento similar en todas las estaciones, observando una elevación entre las 9:00 y 11:00 horas, sin embargo, las estaciones CAP y SJU además tienen otra ligera elevación entre las 19:00 y 23:00 horas. En cuanto a las concentraciones menores en las estaciones de la ZMQ se presentan durante la madrugada, mientras que en SJU es en las tardes.

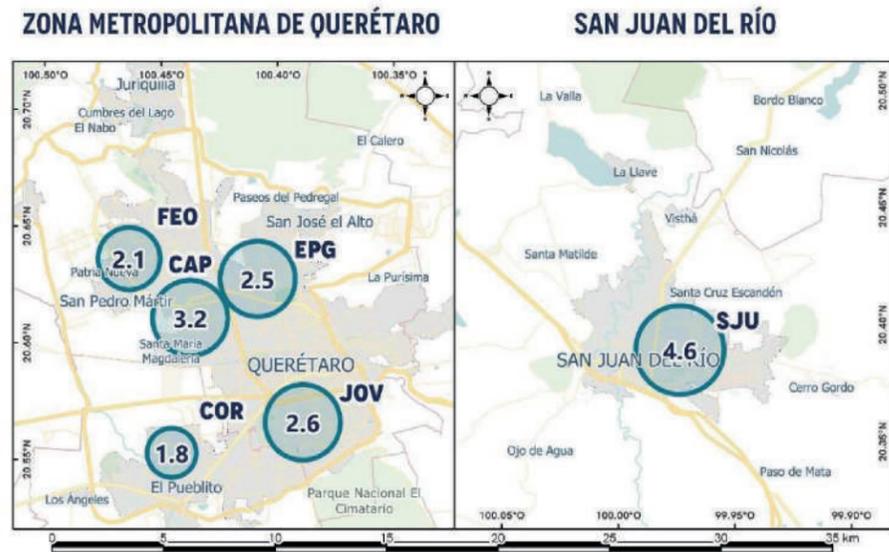
Respecto al comportamiento del promedio mensual, las estaciones de la ZMQ presentaron valores más elevados en los meses de marzo y mayo, registrando los menores valores de julio a octubre. En SJU el primer semestre del año se presentaron valores más elevados y los meses de agosto a octubre los menores valores.

Del análisis por día de la semana, en la ZMQ los días que tuvieron valores de media más elevados fue de martes a viernes, siendo el jueves el día con valores mayores. En cuanto a SJU fue de lunes a miércoles los días con medias más altas, especialmente los lunes. Los fines de semana, fueron los de menores valores en todas las estaciones. Gráfica 9.



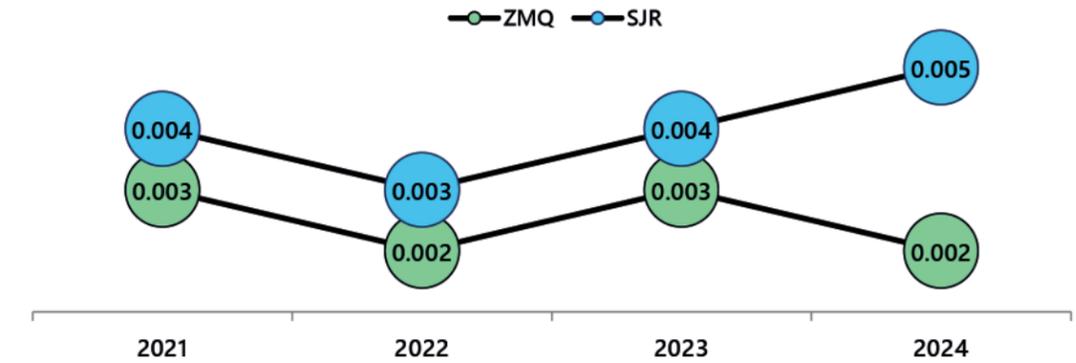
Gráfica 9. Comportamiento temporal de SO₂, 2024.

En el mapa 6, se presentan los promedios anuales por estación, observando que las estaciones de CAP y SJU muestran valores más elevados, la estación COR fue la que tuvo menor promedio anual.



Mapa 6. Promedios anuales (ppb) de SO₂, 2024.

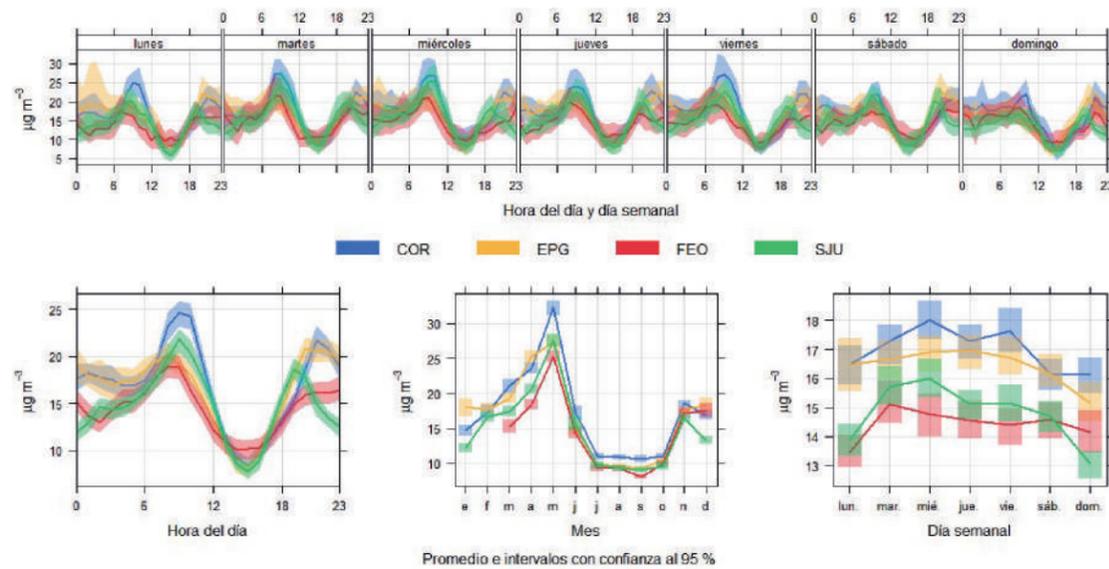
En cuanto al comportamiento anual de los últimos cuatro años, la ZMQ se ha mantenido entre los 0.002 y 0.003 ppm. Sin embargo, en la estación SJU se presenta un ligero incremento en los últimos dos años pasando de 0.003 a 0.005 ppm. Gráfica 10.



Gráfica 10. Promedios anuales (ppm) de SO₂ en el período 2021 - 2024.

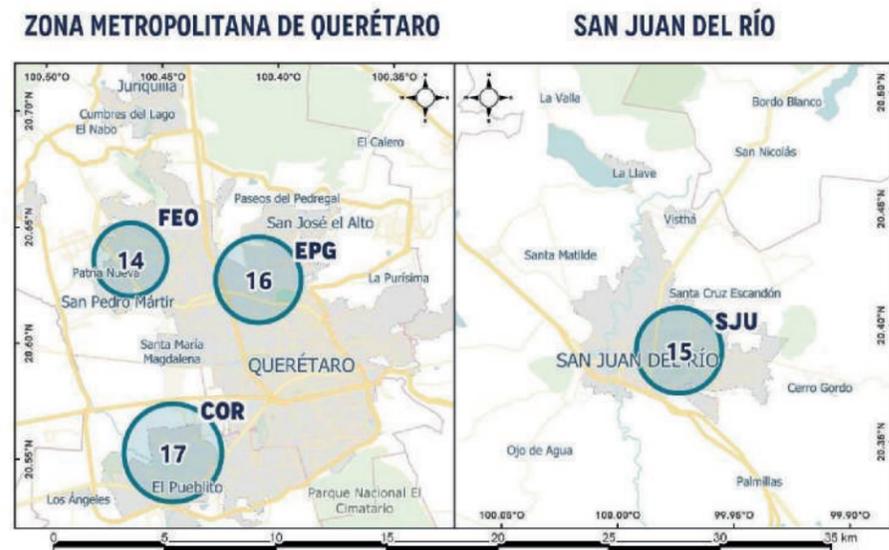
V.5 Partículas suspendidas menores a 2.5 micrómetros (PM_{2.5})

El análisis de comportamiento de las PM_{2.5} en promedios por hora del día, muestra periodos con concentraciones más elevadas, uno entre las 7:00 y las 10:00 horas y otro entre las 19:00 y las 23:00 horas. En tanto los valores más bajos se presentan entre las 13:00 y las 17:00 horas. En cuanto al comportamiento mensual los valores más elevados de las medias mensuales se presentaron en el mes de mayo registrando promedios superiores a los 30µg/m³. En cambio, las menores concentraciones de medias mensuales se presentan en los meses de julio a octubre con promedios similares en todas las estaciones y cercanos a 10µg/m³. En cuanto al comportamiento de días de la semana, se observa que las más altas se presentaron de martes a viernes y de sábado a lunes se tuvieron los promedios más bajos. Gráfica 11.



Gráfica 11. Comportamiento temporal de PM_{2.5} en las estaciones del SMCAQ en 2024.

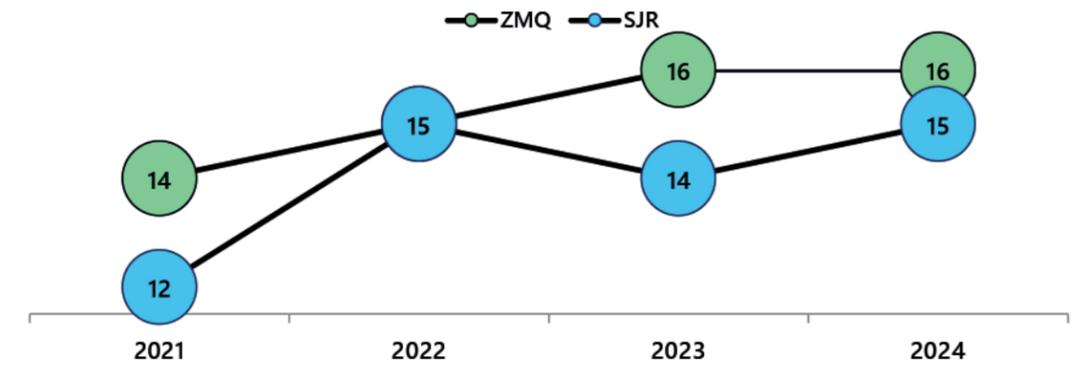
En el mapa 7 se presentan los promedios anuales por estación, siendo la estación COR la que tiene el valor medio anual más alto, seguida de la EPG y SJU, la estación FEO presento el promedio anual más bajo.



Mapa 7. Promedios anuales (µg/m³) de PM_{2.5}, 2024.

Respecto al comportamiento de los últimos cuatro años, el promedio anual de partículas PM_{2.5} para la ZMQ tuvo el mismo comportamiento los últimos dos años. Para SJU se

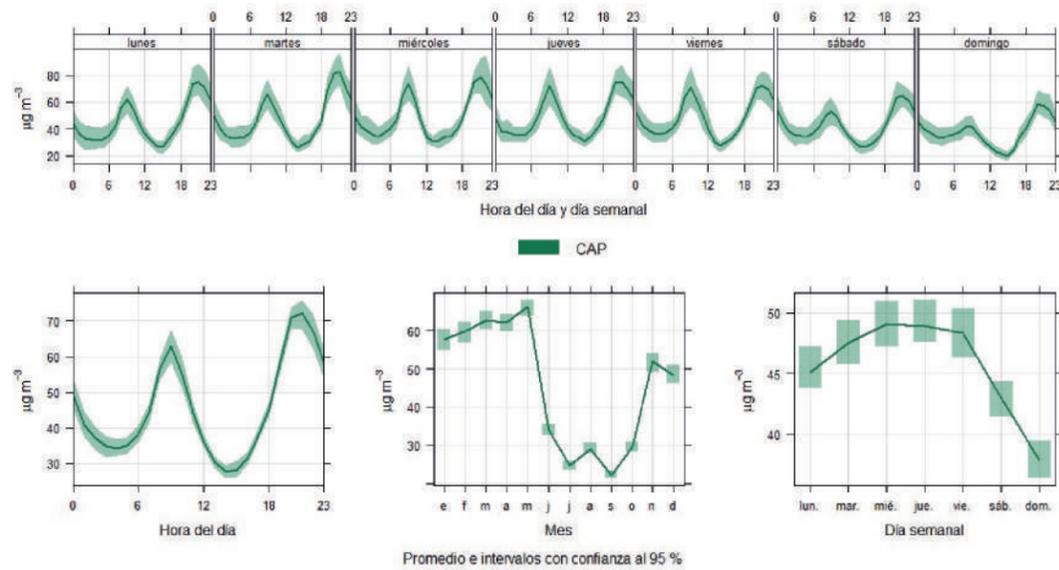
presentó un incremento de 1µg/m³ respecto al año anterior 2023 y de 3µg/m³ respecto al año 2021. Gráfica 12.



Gráfica 12. Promedios anuales (µg/m³) de PM_{2.5} en el período 2021 - 2024.

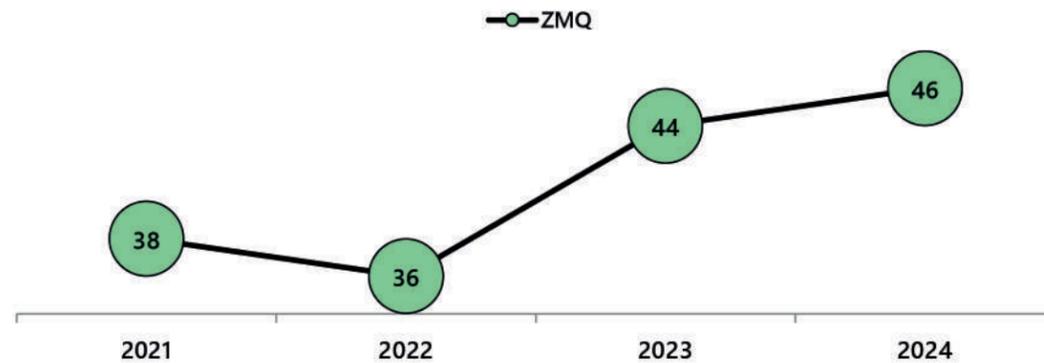
V.6 Partículas suspendidas menores a 10 micrómetros (PM₁₀)

Las partículas PM₁₀ son monitoreadas en ZMQ en la estación Carrillo Puerto (CAP). El análisis del comportamiento hora del día, muestra dos elevaciones durante el día una a las 9:00 horas y otra entre las 19:00 y las 21:00 horas con un promedio mayor en este último periodo comparado con el de la mañana, en cuanto a los promedios menores se registran entre las 12:00 y 18:00 horas. En cuanto al comportamiento de las medias mensuales, los meses de enero a mayo presentan los valores más elevados, siendo mayo el que registro el valor más elevado; por otro lado, los valores promedio mensuales más bajos se presentaron en los meses de julio y septiembre. En cuanto al comportamiento de días de la semana, los días que tuvieron mayor promedio fueron los miércoles, jueves y viernes, por el contrario, los días con valores promedio más bajos fueron los domingos. Gráfica 13.



Gráfica 13. Comportamiento temporal de PM₁₀, 2024.

Respecto al comportamiento de los últimos cuatro años, en la gráfica 14 se observa un incremento de 2µg/m³ respecto del año anterior 2023; sin embargo, el incremento es más notable de 2022 a 2023, cuando fue de 9µg/m³.



Gráfica 14. Promedios anuales (µg/m³) de PM₁₀ período 2021 - 2024.

VI. Análisis de indicadores de calidad del aire

VI.1. Cumplimiento de Normas Oficiales Mexicanas de salud ambiental

La evaluación de cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) de salud ambiental es uno de los indicadores más relevantes de la calidad del aire. Para cada contaminante criterio se tiene una norma específica, en la cual se establecen los Límites Máximos Permisibles (LMP) para protección de la salud, indicando además los tiempos de exposición.

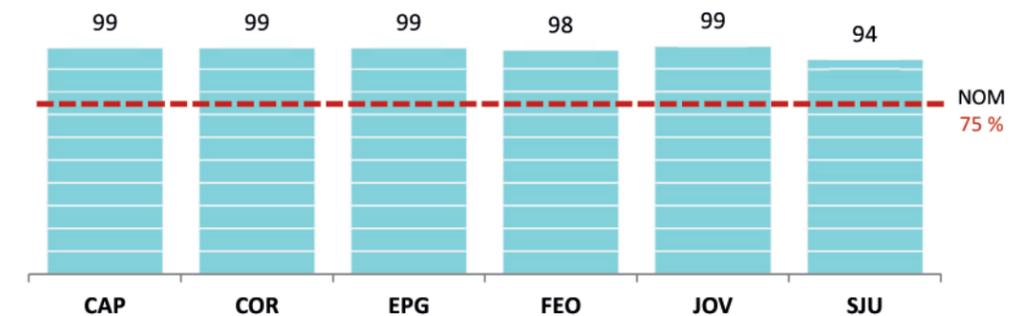
A continuación, se muestra el análisis de cada uno de los contaminantes respecto a su NOM indicando su cumplimiento.

- Evaluación normativa de dióxido de nitrógeno (NO₂)

La NOM en materia de salud ambiental para el dióxido de nitrógeno es la NOM-023-SSA1-2021, que cuenta con tres criterios de evaluación:

1. **Compleción** de datos anual igual o mayor a **75 %**.
2. **Máximo promedio horario** igual o menor a **0.106 ppm**.
3. **Promedio anual** igual o menor a **0.021 ppm**.

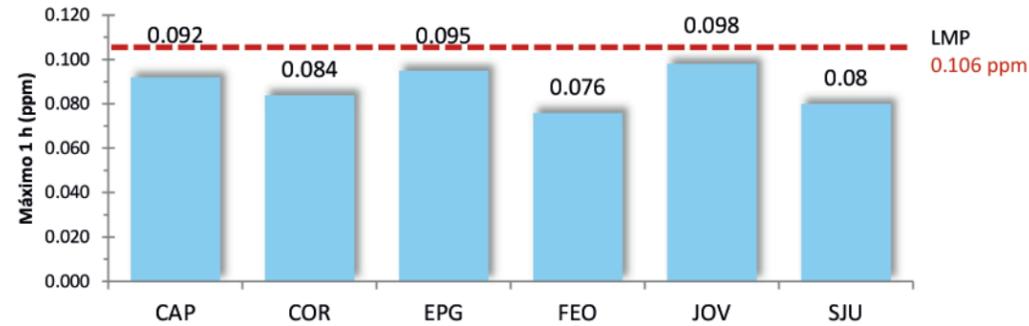
Para el primer punto referente a la completación de datos, se calcularon los porcentajes totales de datos por estación, obteniendo los resultados mostrados en la Gráfica 15, en la cual se observa que se cumple y se supera este punto en todas las estaciones.



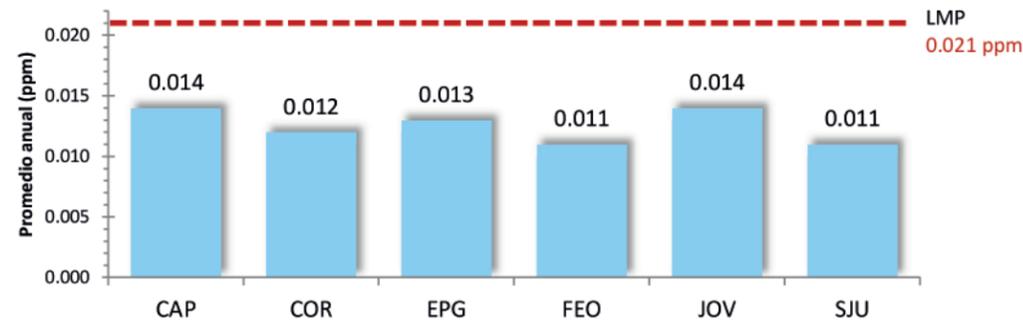
Gráfica 15. Completación de datos por estación para dióxido de nitrógeno (NO₂), 2024.

Una vez confirmado que se cumple con la suficiencia de información, se continua con la verificación de cumplimiento de los límites máximos permisibles de promedio horario y promedio anual.

Los resultados del máximo promedio horario por estación son presentados en la gráfica 16, observando que en todas las estaciones estuvieron debajo de LMP establecido en la NOM-023-SSA1-2021. Asimismo, en la gráfica 17 se presenta el promedio anual por estación el cual también se comparó con el LMP de la NOM estando también por debajo de lo establecido.



Gráfica 16. Máximo promedio horario (ppm) de dióxido de nitrógeno (NO₂) por estación, 2024.



Gráfica 17. Promedio anual (ppm) de dióxido de nitrógeno (NO₂) por estación, 2024.

En la tabla 8 se presenta el resumen de cumplimiento del dióxido de nitrógeno en 2024.

Tabla 8. Resultados de cumplimiento de la NOM-023-SSA1-2021 del dióxido de nitrógeno (NO₂), 2024.

Parámetro	Estación					
	CAP	COR	EPG	FEO	JOV	SJU
Compleción (%)	99	99	99	98	100	94
Máximo promedio horario (ppm)	0.092	0.084	0.095	0.076	0.098	0.080
Promedio anual (ppm)	0.014	0.012	0.013	0.011	0.014	0.011
¿Cumple?	sí	sí	sí	sí	sí	sí

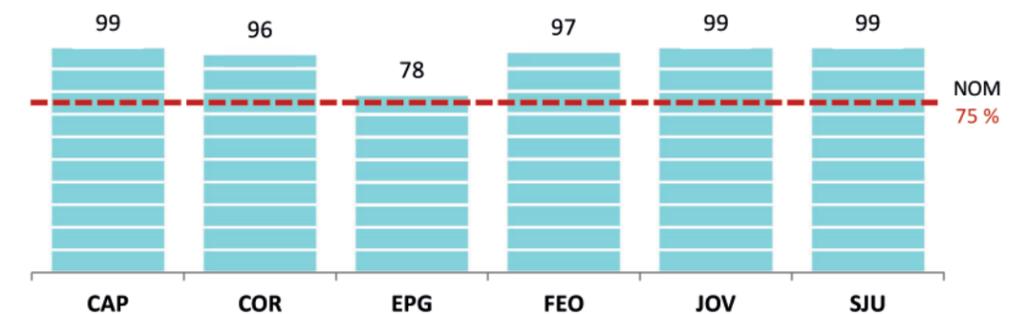
Por lo anterior, se concluye que la ZMQ y SJU cumplieron los LPM para NO₂ establecidos por la NOM-023-SSA1-2021.

• Evaluación normativa de monóxido de carbono (CO)

La NOM en materia de salud ambiental para el monóxido de carbono es la NOM-021-SSA1-2021, que establece tres criterios de evaluación:

1. **Compleción** de datos igual o mayor a **75 %**.
2. **Máximo promedio horario** anual igual o menor a **26.0 ppm**.
3. **Máximo promedio móvil de 8 horas** igual o menor a **9.0 ppm**.

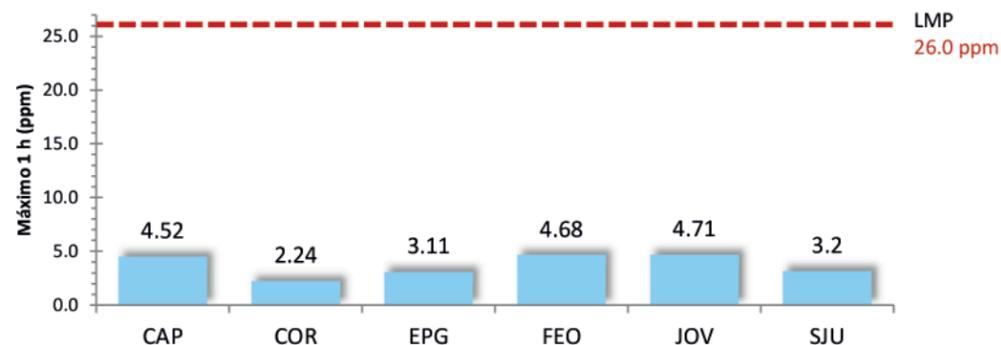
En cuanto al primer punto, referente a la completión de datos, se calcularon los porcentajes totales de datos por estación en el año 2024, obteniendo los resultados mostrados en la gráfica 18, en la cual se observa que se cumple con este punto en todas las estaciones.



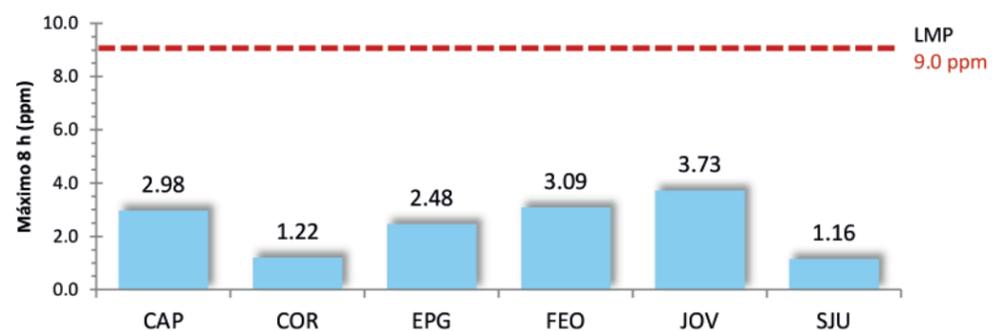
Gráfica 18. Completión de datos por estación para monóxido de carbono (CO), 2024.

Después de confirmar que se cumple con la suficiencia de información se continua con la verificación de cumplimiento de los límites máximos permisibles de promedio horario y promedio anual.

Los resultados del máximo promedio horario por estación son presentados en la gráfica 19, observando que todas estuvieron muy por debajo de LMP establecido en la NOM-021-SSA1-2021. Asimismo, en la gráfica 20 se presenta el promedio móvil de 8 horas por estación también comparado a su LMP de la NOM estando también muy por debajo de lo establecido.



Gráfica 19. Máximo promedio horario (ppm) de monóxido de carbono (CO) por estación, 2024.



Gráfica 20. Máximo promedio móvil de 8 horas (ppm) de monóxido de carbono (CO) por estación, 2024.

En la tabla 9 se presenta el resumen de cumplimiento del monóxido de carbono en 2024.

Tabla 9. Resultados de cumplimiento de la NOM-021-SSA1-2021 de monóxido de carbono (CO), 2024.

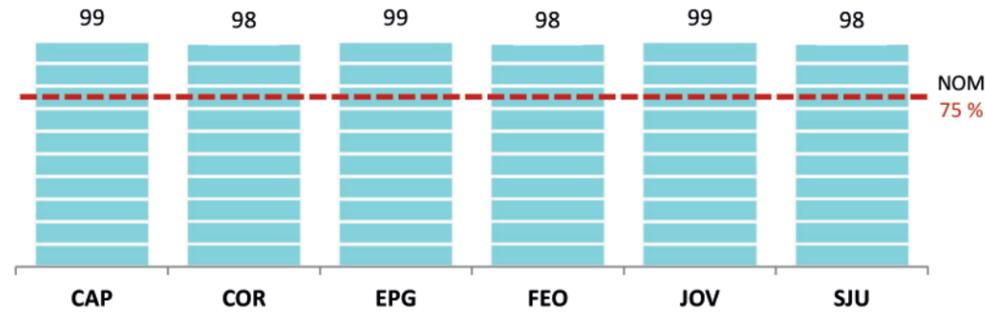
Parámetro	Estación					
	CAP	COR	EPG	FEO	JOV	SJU
Compleción (%)	99	96	78	97	99	99
Máximo promedio horario (ppm)	4.5	2.2	3.1	4.7	4.7	3.2
Máximo promedio móvil de 8 h (ppm)	3.0	1.2	2.5	3.1	3.7	1.2
¿Cumple?	sí	sí	sí	sí	sí	sí

• Evaluación normativa de ozono (O₃)

La NOM en materia de salud ambiental para el ozono es la NOM-020-SSA1-2021, en la cual se establecen tres criterios de evaluación:

1. Contar con al menos **75 % de días completos en el año** (días que cuentan con al menos 18 registros de promedios horarios y promedios móviles de 8 horas).
2. Que el **máximo promedio horario válido** (es decir, que sea registrado en un día completo) sea igual o menor a **0.090 ppm**.
3. Que el **máximo promedio móvil de 8 horas válido** (es decir, que sea registrado en un día completo) sea igual o menor a **0.060 ppm**.

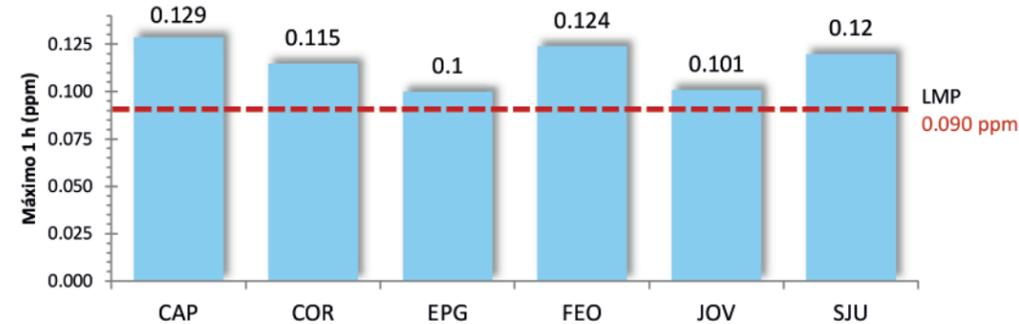
En cuanto al punto 1, referente a la compleción de datos, se calcularon los porcentajes totales de datos por estación en el año 2024, los resultados se muestran en la gráfica 24, en la cual se observa que se cumple y se supera el porcentaje de datos válidos en todas las estaciones. Gráfica 21.



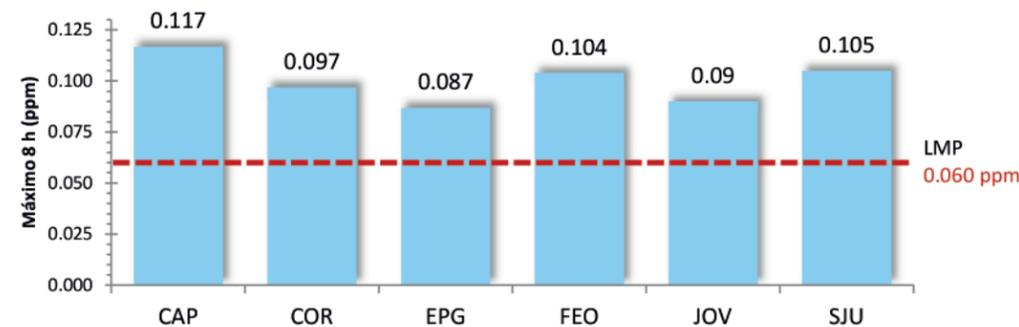
Gráfica 21. Compleción de datos por estación de ozono (O₃), 2024.

Una vez corroborado que cumple con la suficiencia de información se continúa con la verificación de cumplimiento de los límites máximos permisibles de promedio horario y promedio móvil de 8 hr.

En cuanto a los resultados del máximo promedio horario por estación, como se observa en la gráfica 22, todas las estaciones estuvieron por arriba del LMP establecido en la NOM-020-SSA1-2021, así como para el promedio móvil de 8 hr, que se aprecia en la gráfica 23.



Gráfica 22. Máximo promedio horario de ozono (O₃) por estación, 2024.



Gráfica 23. Máximo promedio móvil de 8 horas de ozono (O₃) por estación, 2024.

En la tabla 10 se presenta el resumen de cumplimiento de ozono en 2024.

Tabla 10. Resultados de cumplimiento de la NOM-020-SSA1-2021 de ozono (O₃), 2024.

Parámetro	Estación					
	CAP	COR	EPG	FEO	JOV	SJU
Compleción (%)	99	98	99	98	99	98
Máximo promedio horario (ppm)	0.129	0.115	0.100	0.124	0.101	0.120
Máximo promedio móvil de 8 h (ppm)	0.117	0.097	0.087	0.104	0.090	0.105
¿Cumple?	NO	NO	NO	NO	NO	NO

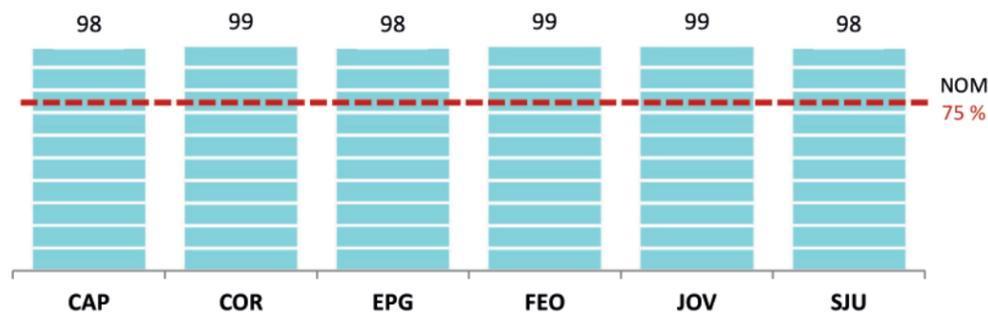
• Evaluación normativa de dióxido de azufre (SO₂)

La NOM en materia de salud ambiental para el dióxido de azufre es la NOM-022-SSA1-2019, que cuenta con criterios de evaluación y completión muy específicos y con varios escenarios dependiendo de la cantidad de datos válidos. Sin embargo, pueden resumirse en:

1. 3 años de datos completos.
2. Que el **promedio aritmético de los percentiles 99 anuales de 3 años** consecutivos sea igual o menor a **0.075 ppm**.
3. Que el **máximo promedio de 24 horas de 3 años** consecutivos sea igual o menor a **0.04 ppm**.

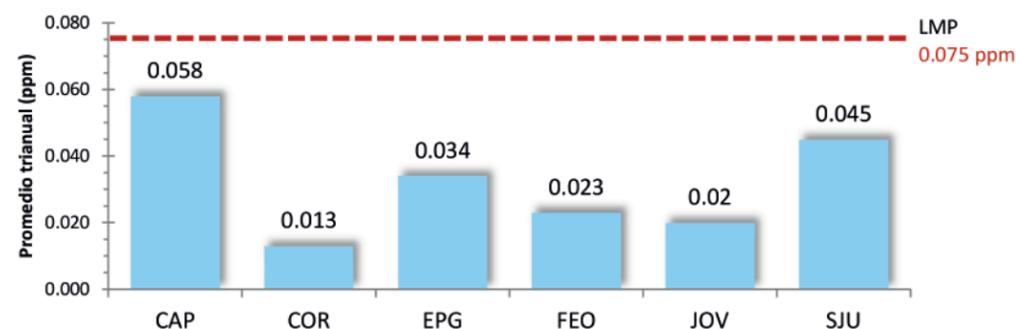
Dado lo anterior, la evaluación del año 2024 se realizó con los datos del período 2022 – 2024, que son los 3 años consecutivos correspondientes.

El criterio de completión de datos de la norma de dióxido de azufre tiene una complejidad que radica en lo que se considera como trimestres completos, que son al menos un 75 % de días completos en el mismo trimestre por tres años consecutivos. Por lo que para efectos de este informe y una vez evaluado y cumplido el criterio de completión, se calculó el número de días completos (con al menos 18 horas de datos) durante el período 2022 – 2024, obteniendo los siguientes mostrados a la gráfica 24.

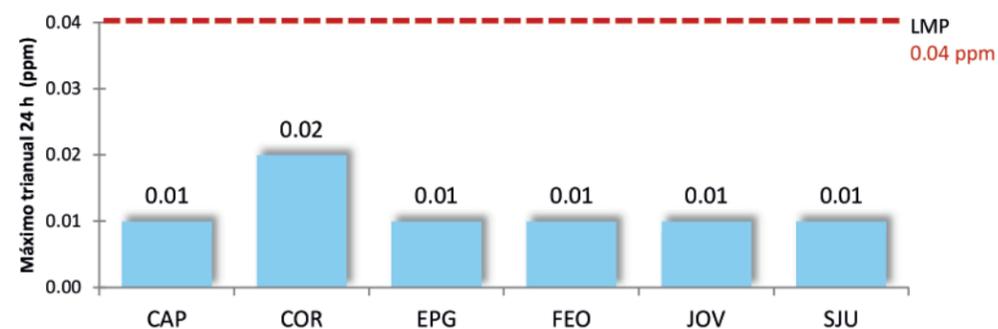


Gráfica 24. Compleción de datos dióxido de azufre (SO₂) 2022-2024 por estación.

Una vez confirmado que todas las estaciones cumplieron la compleción se realizó la evaluación de los límites máximos permisibles de 1 hora y de 24 horas. En la gráfica 25 se observa que, para el criterio de 1 hora, todas las estaciones estuvieron por debajo del LMP y en la gráfica 26 se muestra el criterio de 24 horas en el cual también todas las estaciones estuvieron por debajo del LMP.



Gráfica 25. Promedio trianual de percentil 99 de máximos diarios horario de dióxido de azufre (SO₂), 2024.



Gráfica 26. Máximo promedio trianual de 24 horas de dióxido de azufre (SO₂), 2024.

En la tabla 11 se presenta el resumen de cumplimiento del dióxido de azufre en 2024.

Tabla 11. Resultados de cumplimiento de la NOM-022-SSA1-2019 de dióxido de azufre (SO₂), 2024.

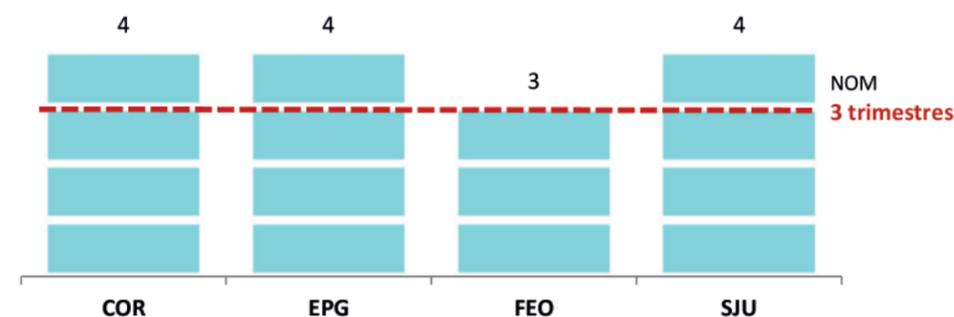
Parámetro	Estación					
	CAP	COR	EPG	FEO	JOV	SJU
Compleción (S/N)	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Promedio aritmético de 3 años consecutivos de percentiles 99 anuales (ppm)	0.058	0.013	0.034	0.023	0.020	0.045
Máximo de 24 horas de 3 años consecutivos (ppm)	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
¿Cumple?	SI	SI	SI	SI	SI	SI

• Evaluación normativa Partículas PM_{2.5}

La NOM en materia de salud ambiental para las partículas PM_{2.5} es la NOM-025-SSA1-2021, que cuenta con tres criterios de evaluación:

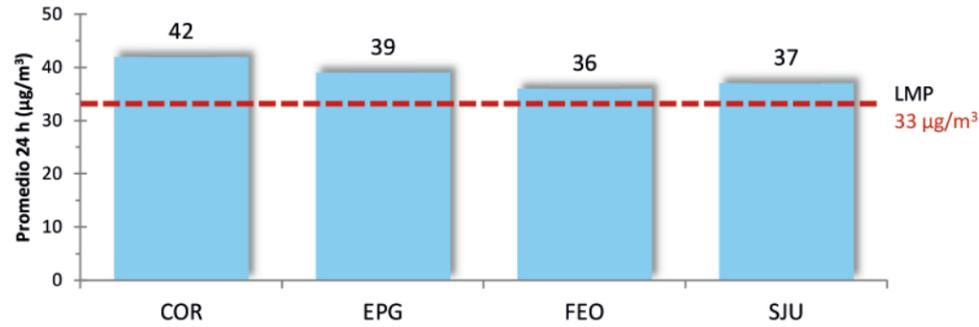
1. Tener al menos **3 trimestres con 75 % de los promedios de 24 horas** válidos (debe de tener 18 o más datos horarios por día).
2. Que el percentil 99 de los promedios de 24 horas sea igual o menor a **33 µg/m³**.
3. Que el **promedio anual** sea igual o menor a **10 µg/m³**.

Para el primer punto, referente a tener al menos 3 trimestres completos por estación, la gráfica 27 muestra los resultados obtenidos, en donde se puede apreciar que todas las estaciones que miden PM_{2.5} cumplen con este criterio.

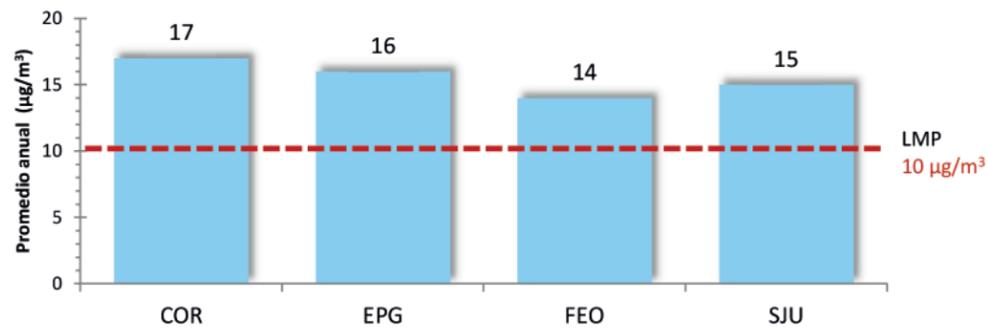


Gráfica 27. Trimestres con cumplimiento de compleción de datos de partículas PM_{2.5} por estación, 2024. Cumpliendo con el primer criterio, se realiza la evaluación del cumplimiento respecto a los LMP de la NOM-025-SSA1-2021. En la gráfica 28 se muestran los resultados respecto al

promedio de 24 horas, observando que en todas las estaciones se estuvo por encima del LMP, así como en el promedio anual, el cual se puede apreciar en la gráfica 29.



Gráfica 28. Percentil 99 de promedios de 24 horas de partículas PM_{2.5} por estación, 2024.



Gráfica 29. Promedio anual de partículas PM_{2.5} por estación, 2024.

En la tabla 12 se presenta el resumen de cumplimiento de las partículas PM_{2.5}, respecto de la NOM-025-SSA1-2021, en donde se especifica que ninguna estación cumplió con los LMP establecidos en la NOM.

Tabla 12. Resultados de cumplimiento de la NOM-025-SSA1-2021 de partículas PM_{2.5}, 2024.

Parámetro	Estación			
	COR	EPG	FEO	SJU
Número de trimestres completos	4	4	3	4
Percentil 99 del promedio de 24 h (µg/m³)	42	39	36	37
Promedio anual (µg/m³)	17	16	14	15

Parámetro	Estación			
	COR	EPG	FEO	SJU
¿Cumple?	NO	NO	NO	NO

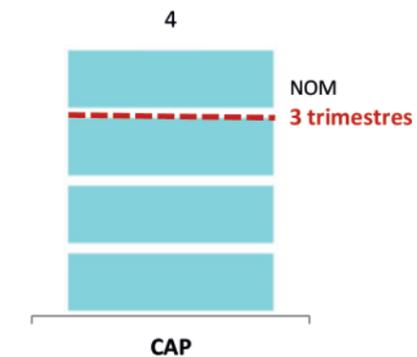
• Evaluación normativa de Partículas PM₁₀

La NOM-025-SSA1-2021 también establece los LMP para Partículas PM₁₀ estableciendo los siguientes criterios:

1. Tener al menos **3 trimestres con 75 % de los promedios de 24 horas** válidos (debe de tener 18 o más datos horarios en el día).
2. Que el percentil 99 de los promedios de 24 horas sea igual o menor a **60 µg/m³**.
3. Que el **promedio anual** sea igual o menor a **28 µg/m³**.

Es importante comentar que las partículas PM₁₀ se miden solo en ZMQ en la estación CAP, por lo que los datos que se presentan hacen alusión únicamente a esta estación.

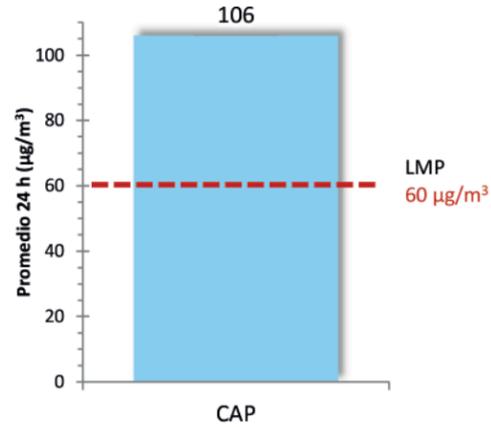
En la gráfica 30 se observa el cumplimiento de completación de datos observando que se tuvo suficiencia de información en los cuatro trimestres del año.



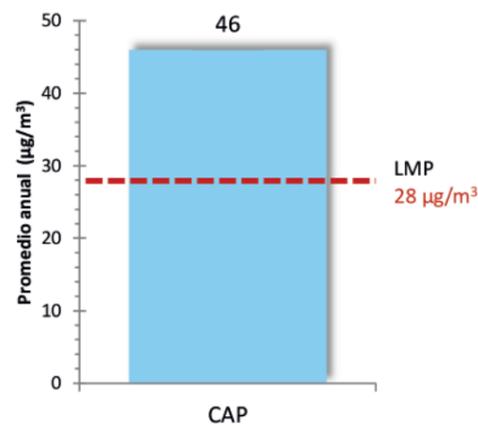
Gráfica 30. Trimestres con cumplimiento de completación de datos de partículas PM₁₀, estación CAP, 2024.

Una vez corroborando que se cumple con la suficiencia de información se continua con la verificación de cumplimiento de los límites máximos permisibles de promedio 24 horas y promedio anual.

Los resultados se muestran en las gráficas 31 y 32 dónde se observa que en los dos indicadores se estuvo por encima de los LMP establecidos en la NOM-025-SSA1-2021.



Gráfica 31. Percentil 99 de promedios de 24 horas de partículas PM₁₀, estación CAP, 2024.



Gráfica 32. Promedio anual de partículas PM₁₀, estación CAP, 2024.

En la tabla 13 se presenta el resumen de cumplimiento de partículas PM₁₀ en donde se muestra que no se cumplió con los LMP de la NOM-025-SSA1-2021.

Tabla 13. Resultados de cumplimiento de la NOM-025-SSA1-2021 de partículas PM₁₀, 2024.

Parámetro	Estación
	CAP
Número de trimestres completos	4
Percentil 99 del promedio de 24 h (µg/m³)	106
Promedio anual (µg/m³)	46
¿Cumple?	NO

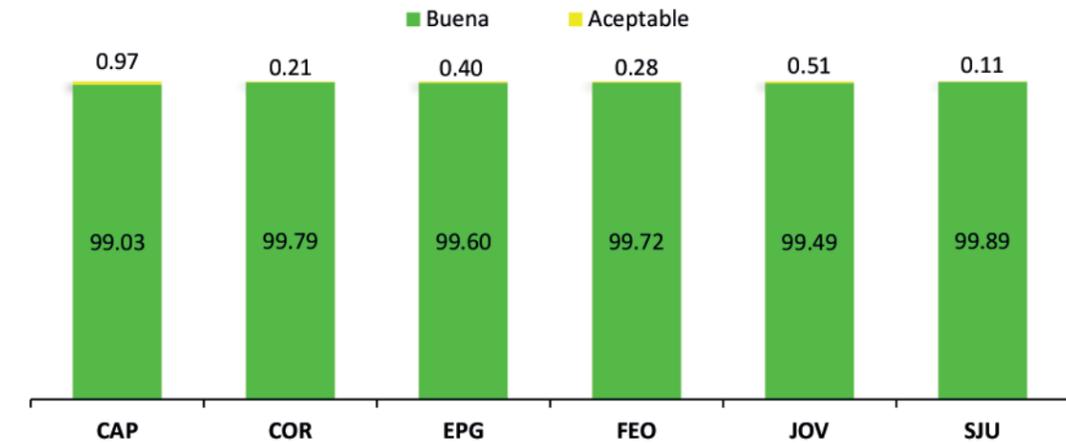
VI.2 Evaluación del Índice AIRE Y SALUD (IAS)

Otro de los indicadores de calidad del aire es el índice aire y salud (IAS) establecido en la NOM-172-SEMARNAT-2023, esta NOM tuvo su última actualización en 2023 y entró en vigor el 23 de julio de 2024, debido a esto, el análisis para este informe se realiza tomando en cuenta el periodo del 1 de enero al 22 de julio de 2024 con los parámetros de la NOM-172-SEMARNAT-2019 y del 23 de julio al 31 de diciembre con los parámetros actualizados de la NOM -172-SEMARNAT-2023.

Este índice se estableció con la finalidad de tener un estándar a nivel nacional para comunicar a la población la información de calidad del aire, considera la publicación hora con hora de la calidad del aire y establece intervalos de concentraciones de contaminantes que califican el nivel de contaminación del aire y su probabilidad de afectación a la salud humana, llamadas Bandas del IAS, los rangos son para calidad del aire buena, aceptable, mala, muy mala y extremadamente mala; además, se especifican recomendaciones para diferentes grupos de la población, para cada nivel de banda del IAS.

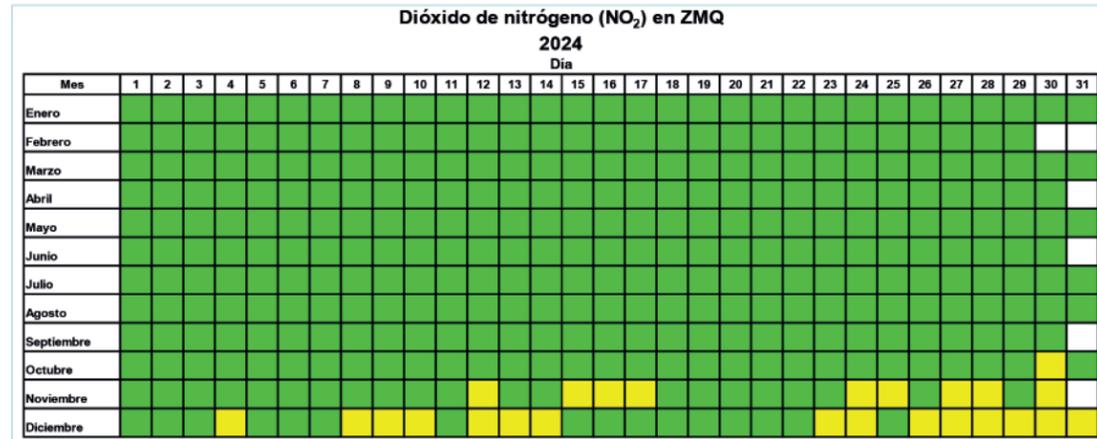
- Índice AIRE Y SALUD (IAS) de dióxido de nitrógeno (NO₂)

El Índice AIRE Y SALUD para NO₂ se calculó con el porcentaje de horas de acuerdo con la banda IAS establecida en la NOM-172-SEMARNAT-2023 y 2019. En la gráfica 33 se muestra que en todas las estaciones en más del 99% de horas estuvieron en BUENA calidad del aire, siendo menos del 1% las horas con calidad del aire aceptable.

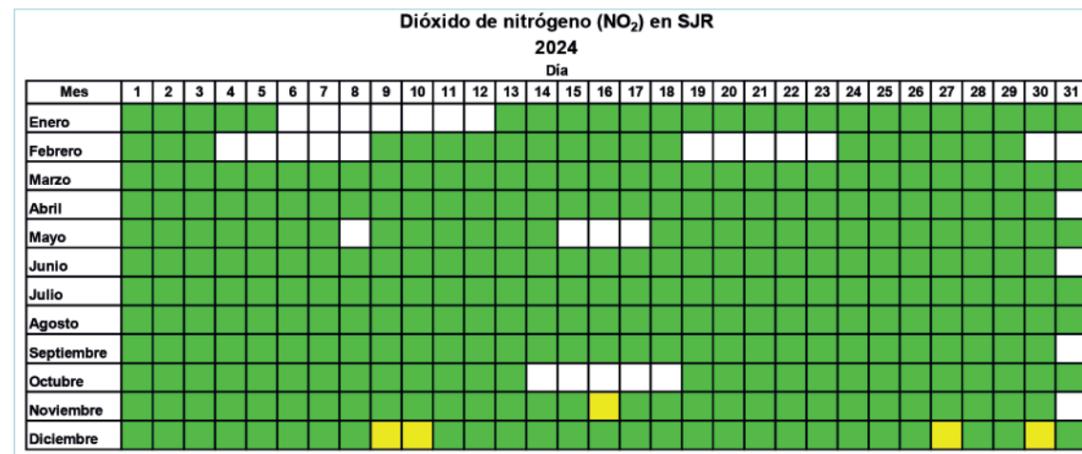


Gráfica 33. Porcentaje de horas por banda IAS de dióxido de nitrógeno (NO₂), 2024.

En las gráficas 34 y 35, se muestran los calendarios de dióxido de nitrógeno para ZMQ y SJU. En los cuales se toma la banda IAS más alta presentada en el día, aún y cuando la concentración asociada a dicha banda se presentará 1 hora en el día. Para ZMQ los meses de noviembre y diciembre fueron los que presentaron horas con calidad del aire aceptable, por lo que todo el día se reporta con este rango. En SJU fue más esporádicas las horas con calidad del aire aceptable también en noviembre y diciembre.



Gráfica 34. Calendario IAS de dióxido de nitrógeno (NO₂) en la ZMQ, 2024.



Gráfica 35. Calendario IAS de dióxido de nitrógeno (NO₂) en SJU, 2024.

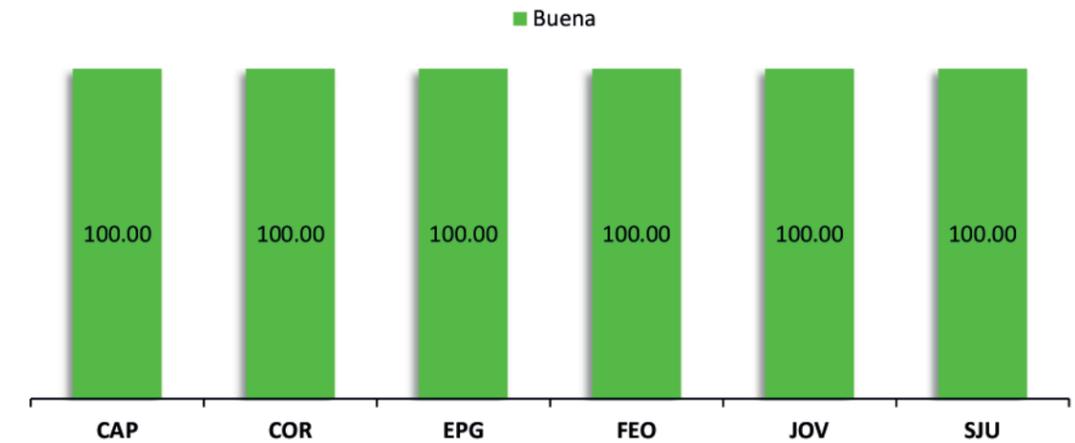
El conteo final indica que para la ZMQ se presentaron 340 días con buena calidad del aire y 25 días con calidad aceptable (7%) por dióxido de nitrógeno, para SJU fueron 335 días con buena calidad del aire y sólo 5 (2 %) con calidad del aire aceptable.



Gráfica 36. Número de días conforme al rango de IAS por NO₂, 2024.

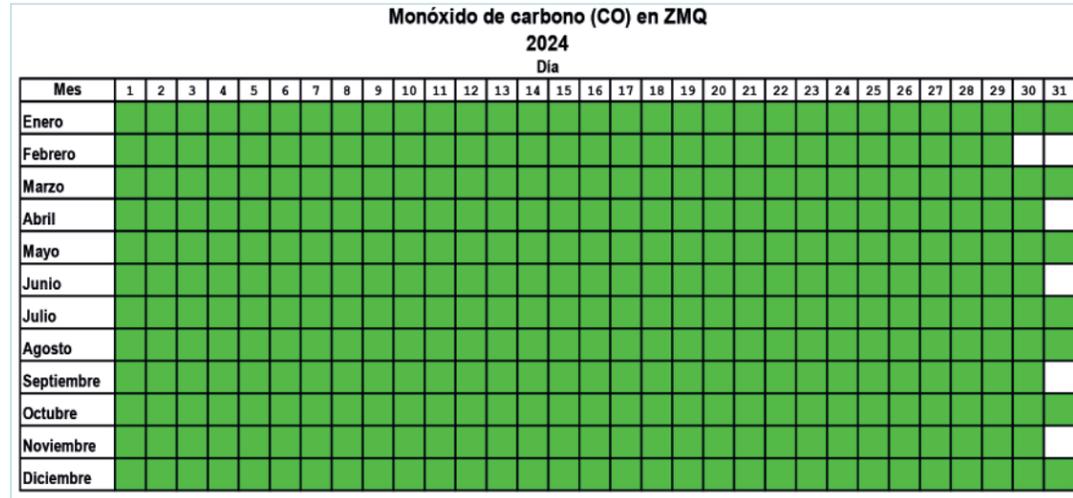
• Índice AIRE Y SALUD (IAS) de monóxido de carbono (CO)

El Índice AIRE Y SALUD para el CO se calculó con el porcentaje de horas de acuerdo con banda IAS de calidad del aire establecidos en la NOM-172-SEMARNAT-2023 y 2019. En la gráfica 40 se muestra que todas las estaciones registraron el 100% de horas en el rango de BUENA calidad del aire. Gráfica 40.

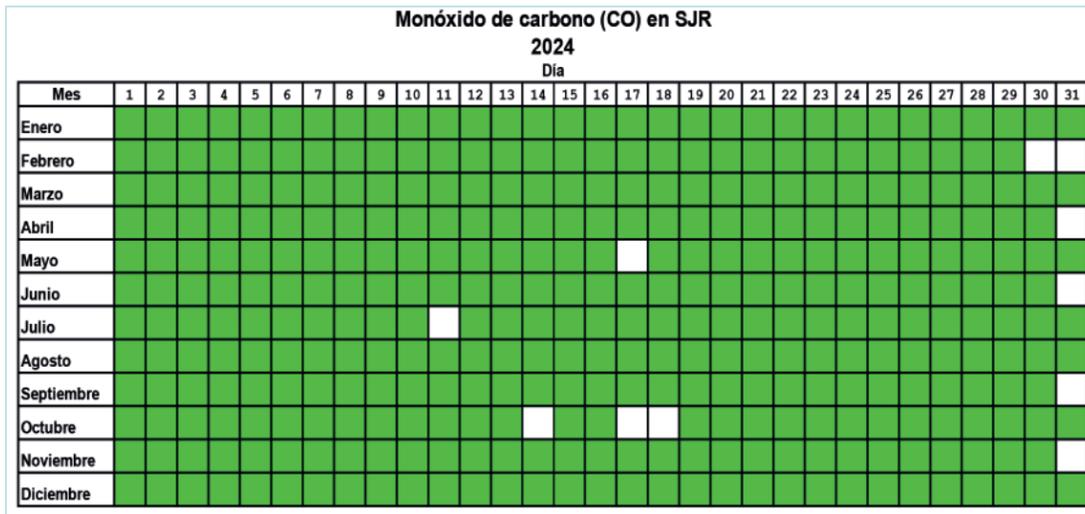


Gráfica 37. Porcentaje de horas por banda IAS por monóxido de carbono (CO), 2024.

En las gráficas 38 y 39, se muestran los calendarios de monóxido de carbono para ZMQ y SJU, recalando que todo el año se registró buena calidad del aire en las dos zonas.



Gráfica 38. Calendario IAS de monóxido de carbono (CO) en la ZMQ, 2024.



Gráfica 39. Calendario IAS de monóxido de carbono (CO) en SJU, 2024.

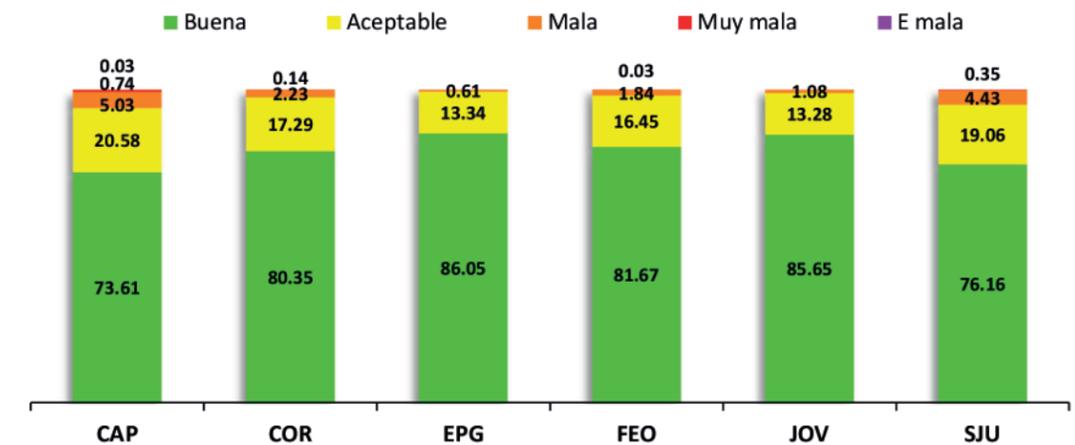
Y por último, con la gráfica 40, se confirma que todos los días registraron buena calidad del arie en IAS de CO.



Gráfica 40. Número de días con banda IAS de CO, 2024.

• Índice AIRE Y SALUD (IAS) por Ozono (O₃)

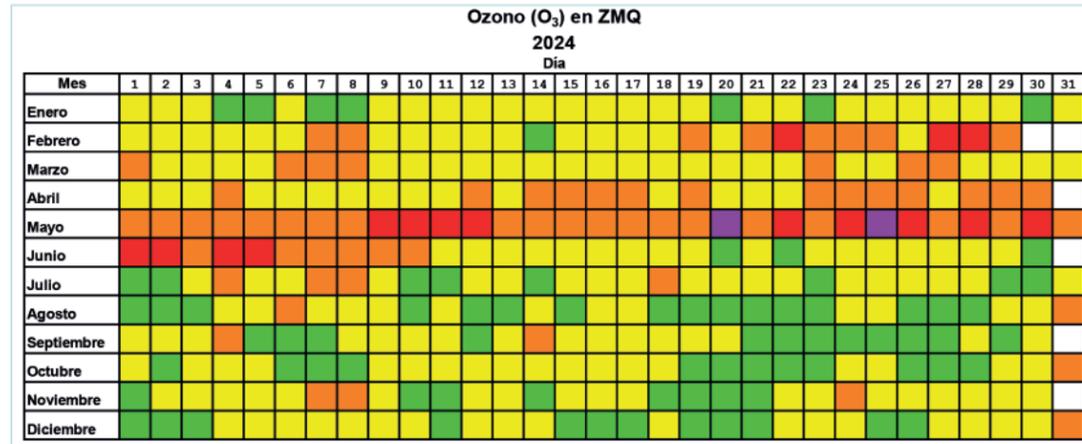
El Índice AIRE Y SALUD de ozono se calculó con el porcentaje de horas de acuerdo con los intervalos de concentraciones de calidad del aire establecidos en la NOM. En la gráfica 41 se observa, que en todas las estaciones se alcanzó calidad mala, en las estaciones de CAP, COR, FEO y SJU muy mala y solo en la estación CAP alcanzó extremadamente mala, en un porcentaje muy bajo.



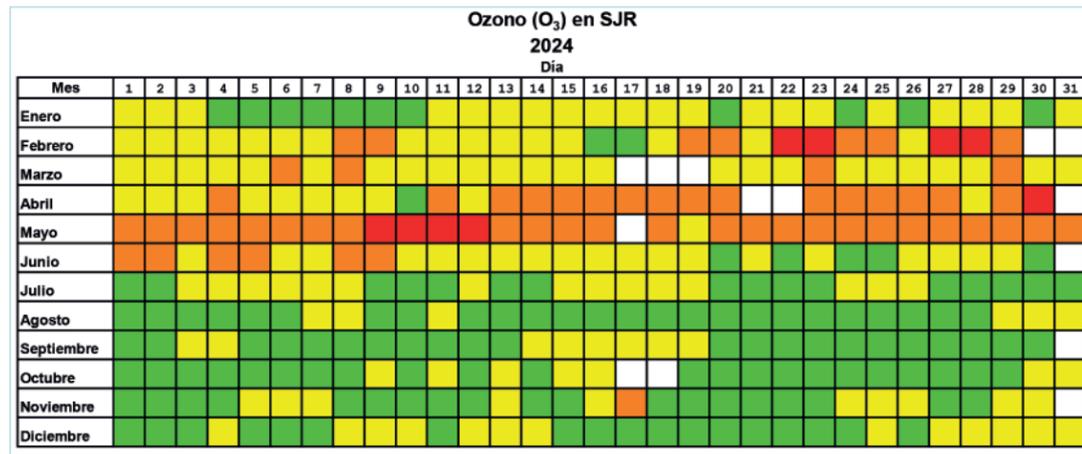
Gráfica 41. Porcentajes por banda IAS por ozono (O₃), 2024.

En las gráficas 42 y 43 se muestran los calendarios de comportamiento de ZMQ y SJU. Para ZMQ los meses donde se registran más días con calidad del aire mala y muy mala fueron de febrero a junio, siendo los meses de mayo y junio los que tuvieron más días con esta condición, presentando en mayo incluso dos días con calidad del aire extremadamente mala. Los días de calidad aceptable fueron los que se reportaron en mayor cantidad a lo

largo de todos los meses. Para SJU se presentó el mismo comportamiento registrando en los meses de febrero a junio días con calidad del aire mala y muy mala.

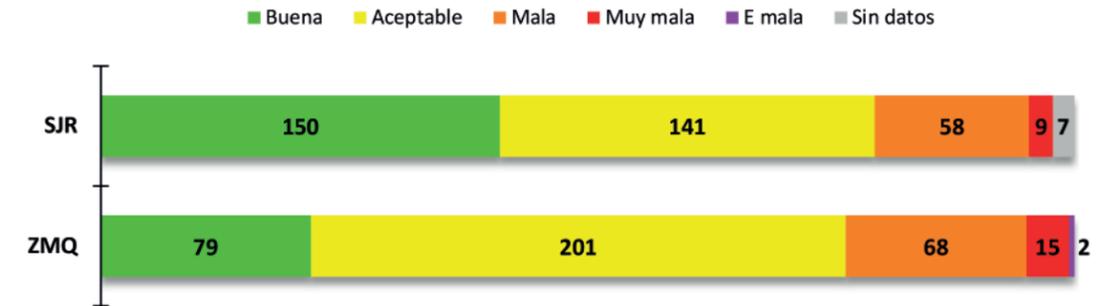


Gráfica 42. Calendario IAS de ozono (O₃) en la ZMQ. Año 2024.



Gráfica 43. Calendario IAS de ozono (O₃) en SJU. Año 2024.

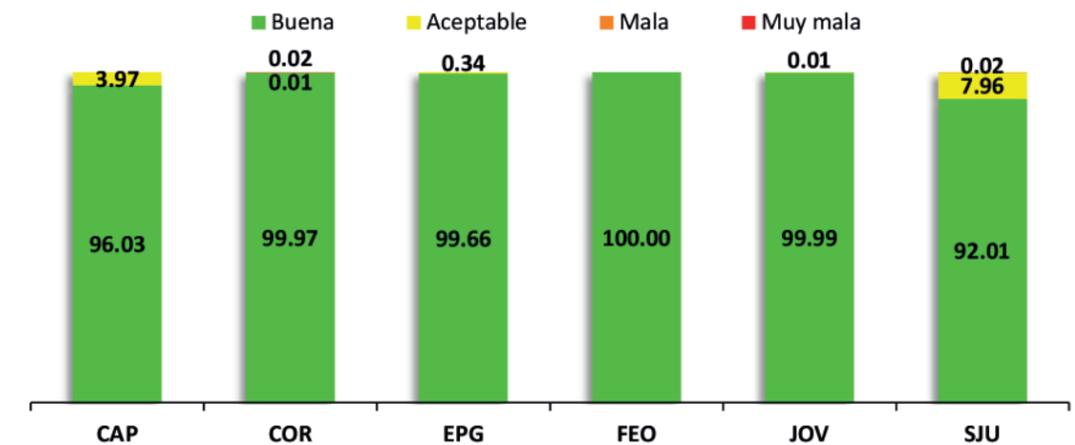
Respecto al conteo de días por banda IAS. En la ZMQ fueron 79 días (22%) que registraron calidad del aire buena, 201 (55 %) calidad aceptable, 68 días (19%) con mala calidad del aire y 15 días (4%) con muy mala calidad del aire. Para SJU, 150 días (41%) con buena calidad del aire, 141 días (39%) con calidad del aire aceptable, 58 días (16%) con mala calidad del aire y 9 días (2%) con muy mala calidad del aire. Gráfica 44.



Gráfica 44. Número de días por banda IAS de O₃, 2024.

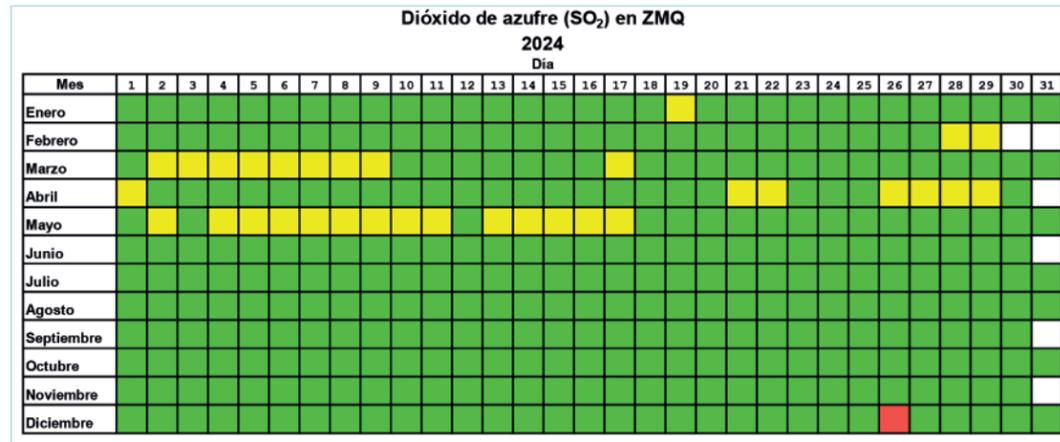
• Índice AIRE Y SALUD (IAS) por dióxido de azufre (SO₂)

El Índice AIRE Y SALUD para SO₂ se calculó con el porcentaje de horas de acuerdo con los intervalos de concentración establecidos en la NOM. En la gráfica 45 se muestran los porcentajes de horas e intervalo de calidad del aire predominando el porcentaje de horas con buena calidad del aire en todas las estaciones, siendo la estación de SJU la que tuvo el mayor porcentaje de horas con calidad del aire aceptable, seguida de la estación CAP.

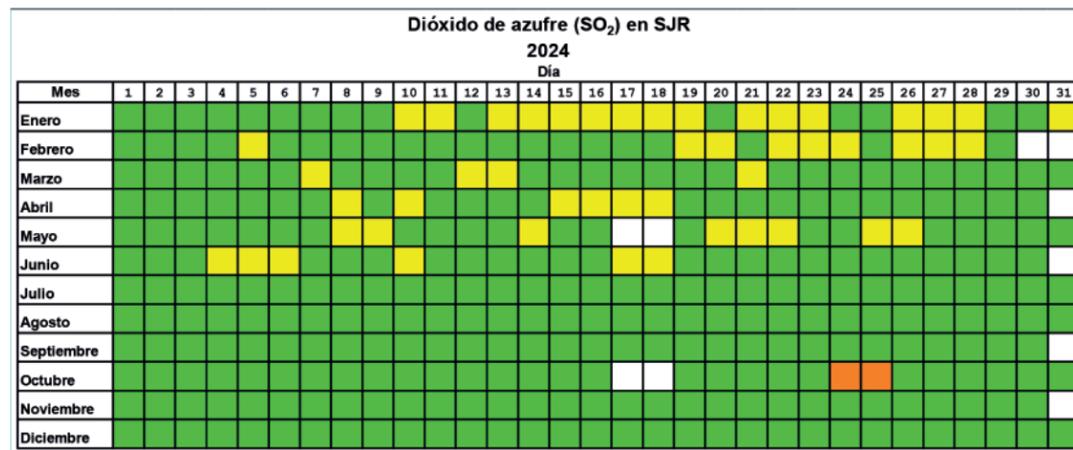


Gráfica 45. Porcentajes de horas en banda IAS por dióxido de azufre (SO₂), 2024.

En las gráficas 46 y 47, se muestran los calendarios de dióxido de azufre para ZMQ y SJU. En ZMQ tuvo el mayor porcentaje de días con buena calidad del aire, los pocos días con calidad del aire aceptable se concentraron especialmente en el período de marzo a mayo y solo un día en diciembre se registró mala calidad del aire. En SJU los meses de enero a junio registraron días con calidad del aire buena y aceptable y para el mes de octubre fueron dos días con mala calidad del aire.

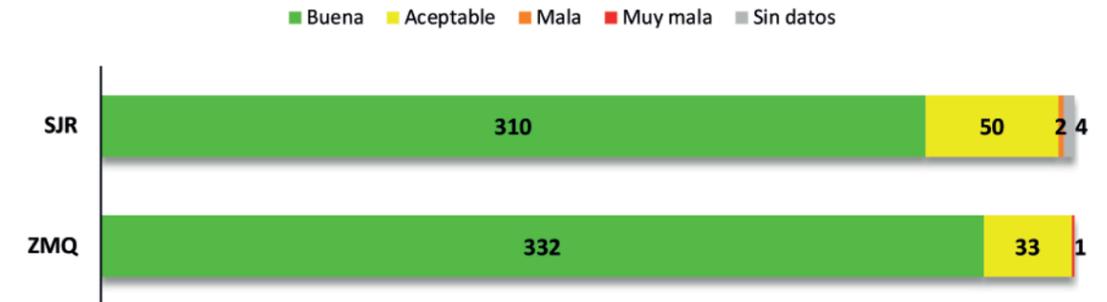


Gráfica 46. Calendario IAS de dióxido de azufre (SO₂) en la ZMQ. Año 2024.



Gráfica 47. Calendario IAS de dióxido de azufre (SO₂) en SJU. Año 2024.

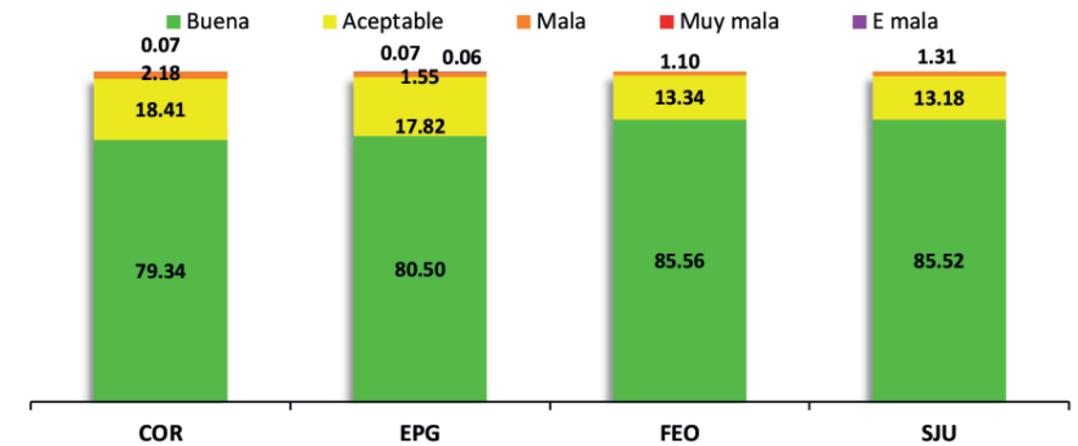
En la gráfica 48, se muestra el conteo total de días en ZMQ y SJU. Para ZMQ se registraron 332 días con buena calidad del aire, 33 días con aceptable y 1 con mala calidad del aire. En SJU fueron 310 días registraron buena calidad del aire, 50 con calidad del aire aceptable y 2 con mala calidad del aire.



Gráfica 48. Número de días por banda cromática IAS de SO₂, 2024.

• Índice AIRE Y SALUD (IAS) de partículas PM_{2.5}

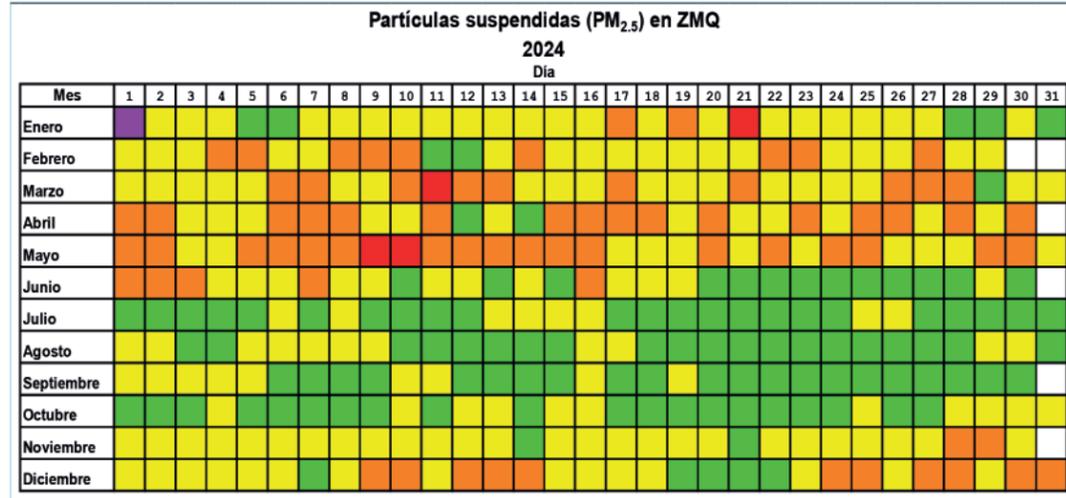
El Índice AIRE Y SALUD para partículas PM_{2.5} se calculó con el porcentaje de horas de acuerdo con los intervalos de concentración establecidos en la NOM por estación. En la gráfica 49 se muestra que se tuvo buena calidad del aire en el 79 al 85% de horas en todas las estaciones, calidad del aire aceptable entre el 13 y 18% de estaciones y muy mala calidad del aire entre el 1 y el 2.2%, solo el 0.07% de horas con calidad del aire extremadamente mala.



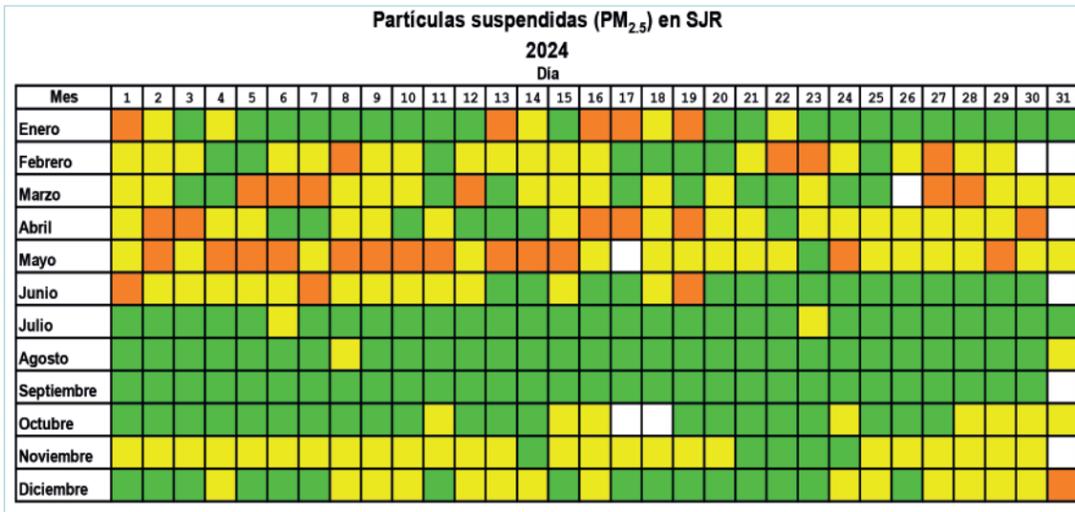
Gráfica 49. Porcentajes por banda IAS por partículas PM_{2.5}, 2024.

En las gráficas 50 y 51 se muestran los calendarios de PM_{2.5} para ZMQ y SJU. Para ZMQ, los días con mala calidad estuvieron principalmente en los primeros meses del año, de enero a mayo y en el mes de diciembre, llegando a calidad de aire extremadamente mala el primero de enero fecha en la que se presentan regularmente concentraciones más elevadas debido

al uso de juegos pirotécnicos. En SJU los días con mala calidad del aire se presentaron también de enero a junio.

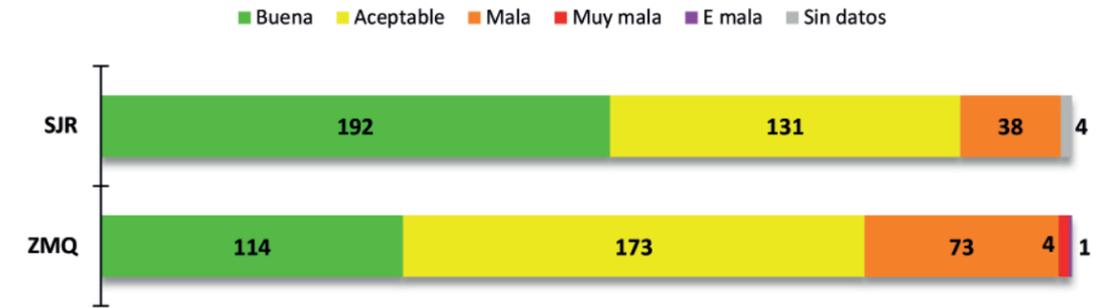


Gráfica 50. Calendario IAS de partículas PM_{2.5} en la ZMQ, 2024.



Gráfica 51. Calendario IAS de partículas PM_{2.5} en SJU, 2024.

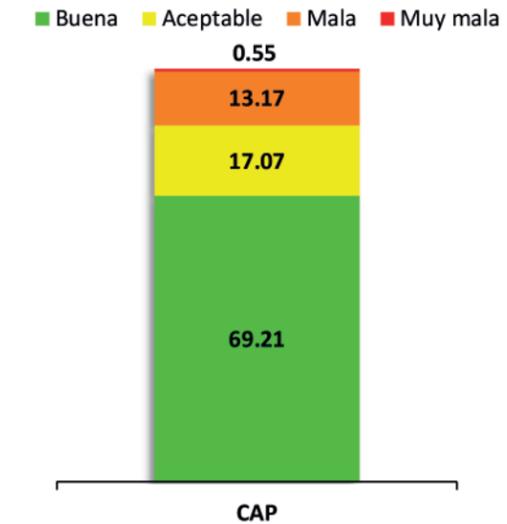
En cuanto a los días con intervalos IAS para la ZMQ se tuvieron 114 días con buena calidad del aire, 173 días con calidad del aire aceptable, 73 días con mala calidad del aire, 4 con muy mala calidad del aire y 1 día con extremadamente mala. En SJU se registraron 192 días con buena calidad del aire, 131 días con calidad del aire aceptable, 38 con mala calidad del aire. Gráfica 52.



Gráfica 52. Número de días por banda cromática IAS de PM_{2.5}, 2024.

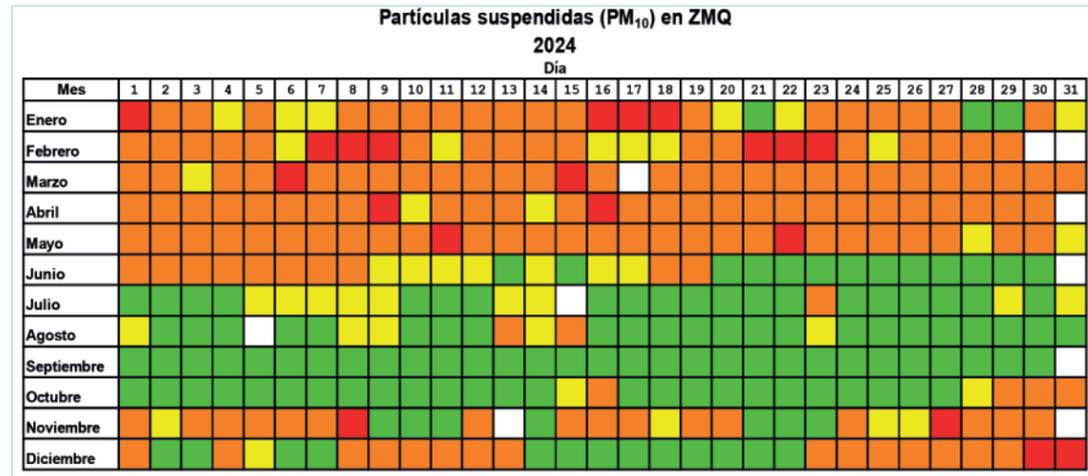
• Índice AIRE Y SALUD (IAS) por partículas PM₁₀

El Índice AIRE Y SALUD para PM₁₀ se calculó con el porcentaje de horas de acuerdo con los intervalos establecidos en la NOM. En la gráfica 53 se muestra que poco más del 69% de horas se tuvo buena calidad del aire, 17% con calidad del aire aceptable, 13% con mala calidad del aire y menos del 1% con muy mala calidad del aire.



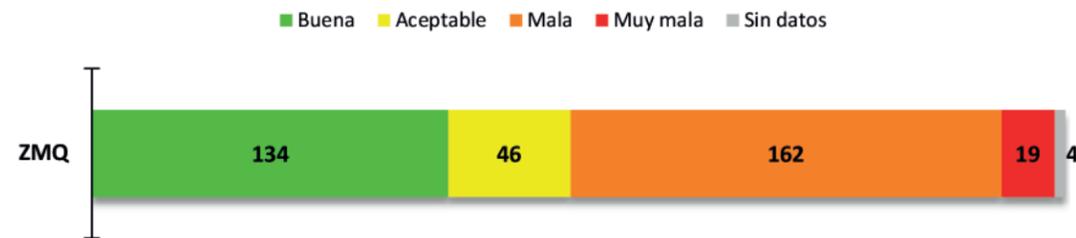
Gráfica 53. Porcentajes de horas en banda IAS por partículas PM₁₀, 2024.

En la gráfica 54, se muestran los calendarios de partículas PM₁₀ para ZMQ. Como se observa los meses de enero a mayo y los primeros días de junio se presentaron la mayor cantidad de días con mala calidad del aire y muy mala, solo tres días se tuvo buena calidad del aire en este periodo de tiempo.



Gráfica 54. Calendario IAS de partículas PM₁₀, 2024.

En el conteo de días registro 134 días (38%), con buena calidad del aire, 46 días con calidad del aire aceptable (13%), 162 días (44%) con mala calidad del aire y 19 días (5%) con muy mala calidad del aire.

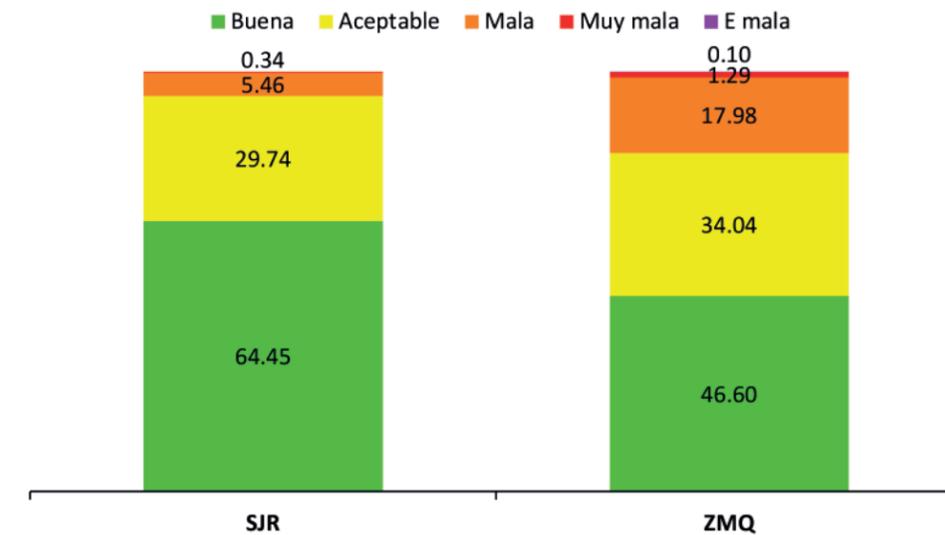


Gráfica 55. Número de días por banda IAS de partículas PM₁₀, 2024.

• Índice AIRE Y SALUD (IAS) de ZMQ y SJU

Con la finalidad de tener una representación del comportamiento del IAS tanto para la ZMQ y SJU. Se realiza el IAS combinado de todos los contaminantes, considerando el índice más alto diario de todas las estaciones. Lo que permite, observar la calidad del aire en general por día del año para cada zona.

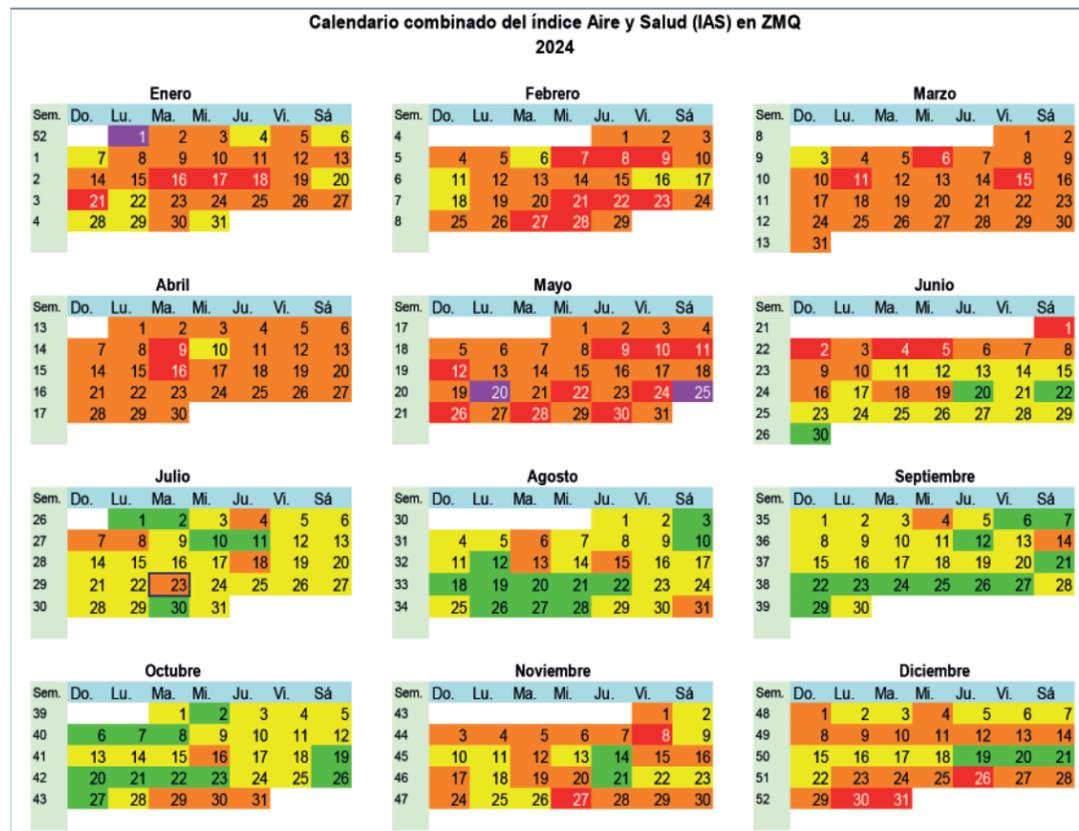
En cuanto al porcentaje de horas medidas en la ZMQ el 46.6% de horas se tuvo buena calidad del aire, el 34.0 % de horas con calidad del aire aceptable, 17.9% de hora con mala calidad del aire, 1.19% de horas con muy mala calidad del aire y tan solo el 0.1% de horas con calidad del aire extremadamente mala. Para SJU el 64.5% de horas se tuvo buena calidad del aire, 29.7% en calidad del aire aceptable, 5.5% en mala calidad del aire y solo 2l 0.3% en muy mala calidad del aire. Gráfica 56.



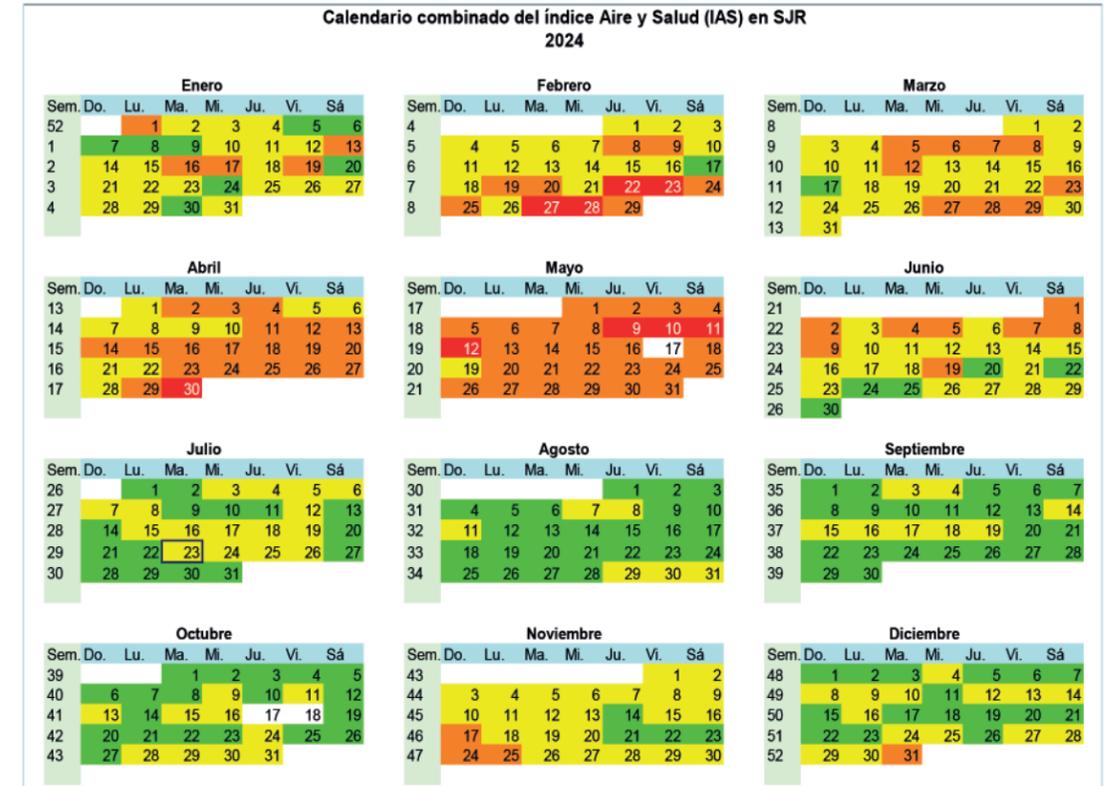
Gráfica 56. Porcentajes de horas por banda IAS combinado por ciudad. Año 2024.

En la gráfica 57 se muestra el calendario para 2024 de la ZMQ, donde se observa que los meses de enero a mayo no se registran días con buena calidad del aire, siendo notorio que la mayor parte de los días se presenta mala calidad del aire, además de días con muy mala calidad del aire incluso 3 días con calidad del aire extremadamente mala. Como se pudo apreciar con el análisis de los apartados anteriores el ozono y las partículas PM_{2.5} y PM₁₀ fueron los que registraron concentraciones más elevadas en ZMQ.

Para SJU el calendario se observa en la gráfica 58 mostrando el mismo comportamiento que en el calendario de ZMQ, donde los primeros cinco meses del año se presenta el menor número de días con buena calidad del aire, siendo los meses de abril y mayo los que registran más días con mala calidad del aire y algunos con muy mala. Asimismo, el ozono y las partículas PM_{2.5} son los que presentaron las concentraciones más elevadas.

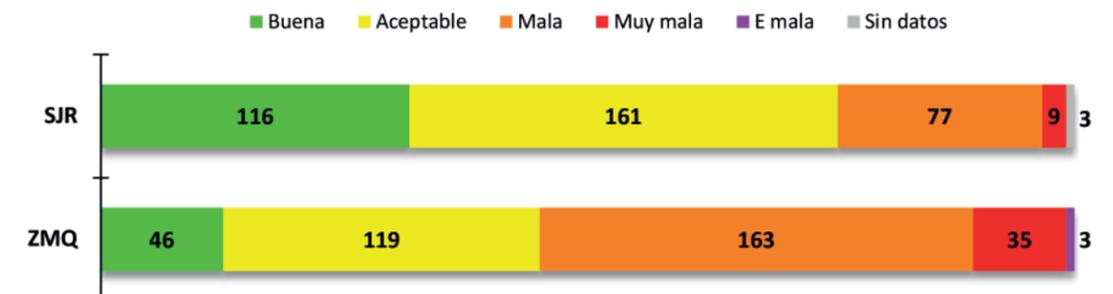


Gráfica 57. Calendario IAS combinado de la ZMQ. Año 2024.



Gráfica 58. Calendario IAS combinado de SJU. Año 2024.

La gráfica 59 muestra el conteo de días con IAS para ZMQ y SJU. Observando que para ZMQ se registra el menor número de días con buena calidad del aire y la mayor cantidad de días con calidad del aire mala, muy mala y extremadamente mala.

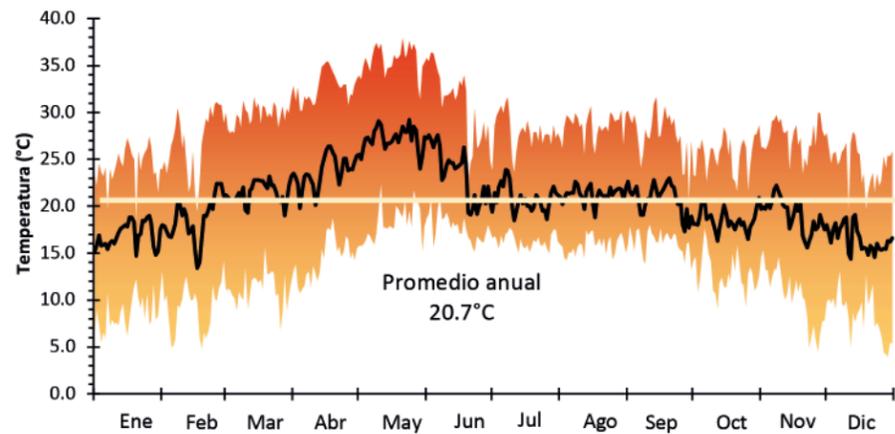


Gráfica 59. Número de días por banda IAS combinado por zona, 2024.

VII. Comportamiento meteorológico

VII.1 Temperatura

En la gráfica 59 se muestra el comportamiento de la temperatura en 2024, observando que los meses de marzo a junio se registraron valores por encima de la media y de junio a septiembre se mantuvo en valores cercanos a la media; los valores más bajos en enero y diciembre.



Gráfica 60. Medias, máximos y mínimos diarios de temperatura (°C) en la ZMQ. 2024.

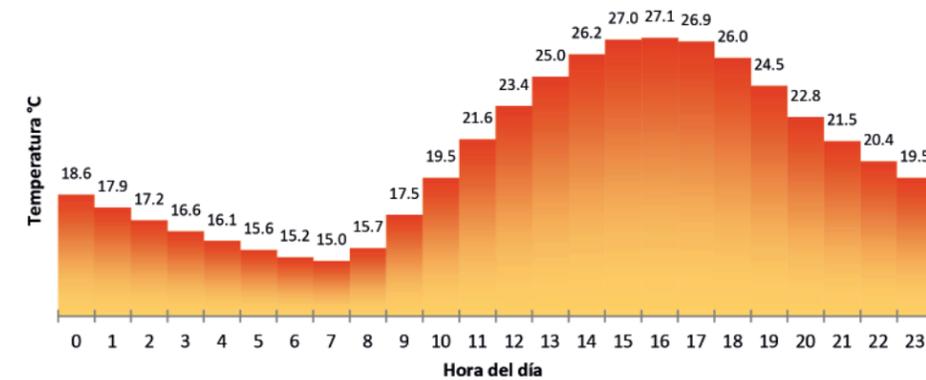
Para tener una mejor precisión del comportamiento de la temperatura, se realizó el análisis mensual, en la tabla 14 se presentan registros de las máximos y mínimos absolutos y el promedios de máximos y mínimos de cada mes, en donde se aprecia que el mes más cálido fue mayo, estando por encima de los demás meses 4°C en la media, llegando a 27.2°C, esto también en la máxima promedio (35.5°C) y máxima absoluta (37.9°C) así como el mayor valor de mínima promedio (18.2°C) se registró en el mes de mayo. El período de abril a junio se mantuvo con máximas promedio por encima de los 30°C, máxima absoluta encima de los 35°C y promedios mensuales mayores a 23°C. El máximo valor temperatura registrado fue de 37.9°C el 21 de mayo.

En relación con temperaturas mínimas, el mes más frío fue diciembre, con una media mensual de 16.5°C, mínima media de 8.4 y mínima absoluta de 3.9°C que fue el menor valor del año. En cuanto a las máximas media y absoluta de temperaturas mínimas fueron en enero con 24.2°C y 27.4°C, respectivamente. El promedio anual fue 20.7°C, las medias máxima y mínima fueron 28.4°C y 13.3°C, respectivamente. El mínimo valor registrado de temperatura mínima fue de 3.9°C el día 29 de diciembre.

Tabla 14. Análisis mensual de temperatura en ZMQ, 2024.

Comportamiento de la temperatura Zona Metropolitana de Querétaro 2024													
Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Grados Celsius (°C)													
Máxima absoluta	27.4	31.1	31.8	35.4	37.9	36.4	31.6	30.6	31.6	28.6	30	27.9	37.9
Máxima promedio	24.2	26.7	29.7	32.7	35.5	30.9	27.9	28.5	27.5	25.4	27.3	24.5	28.4
Media	16.9	18.6	21.5	23.7	27.2	23.5	20.8	21.3	20.8	18.5	19.1	16.5	20.7
Mínima promedio	8.5	9.2	11.2	14.4	18.2	17.7	16.3	15.8	16.2	12.8	10.4	8.4	13.3
Mínima absoluta	5.4	4.7	6.7	10.7	15	15.1	14.9	14.2	13.2	9	4.4	3.9	3.9
Escala													
	< 4.1	4.1 - 6.0	6.1 - 9.0	9.1 - 12.0	12.1 - 16.0	16.1 - 19.0	19.1 - 22.0	22.1 - 25.0	25.0 - 28.0	28.1 - 32.0	32.1 - 36.0	> 36.0	

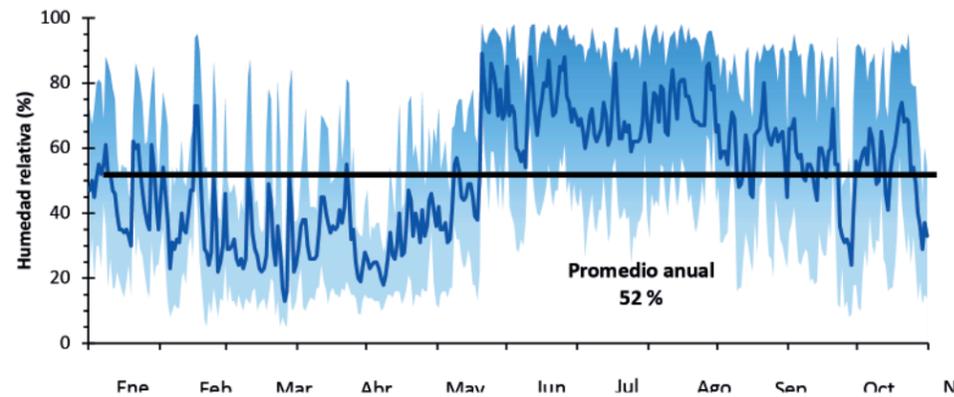
En cuanto al comportamiento horario, en la gráfica 60 se observa que las horas con mayor promedio de temperatura fueron de las 15:00 a las 17:00 horas, con un máximo de cercano a los 27°C, registrando el máximo a las 16:00 horas con 27.1°C. Las horas con temperaturas más bajas fue entre las 5:00 y las 8:00 horas, con promedios por debajo de los 16°C, con la temperatura mínima a las 7:00 horas con 15.0°C.



Gráfica 61. Promedios por hora del día de temperatura (°C) ZMQ, 2024.

VII.2 Humedad relativa

La humedad relativa en 2024 se presentó con una humedad muy baja durante los primeros 6 meses, mostrando un cambio significativo a humedad muy alta, por encima del promedio anual hasta noviembre y diciembre donde con altibajos, manteniendo promedios diarios cercanos a la media anual. Gráfica 61.



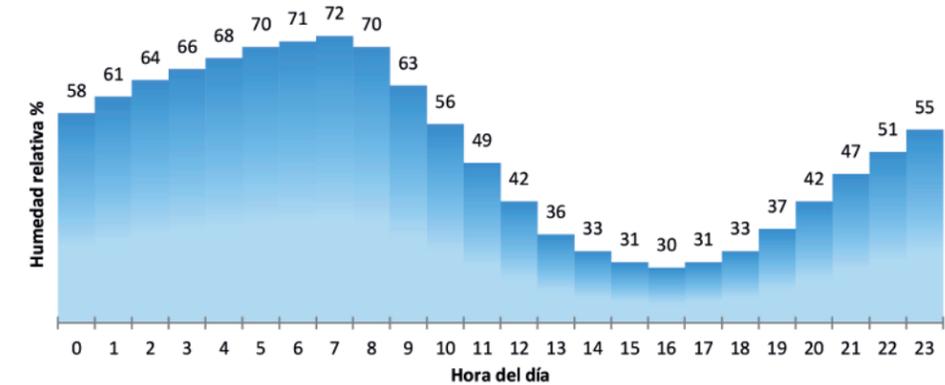
Gráfica 62. Medias, máximos y mínimos diarios de humedad relativa (%) en ZMQ, 2024.

En cuanto al comportamiento mensual en la tabla 15 se presentan los máximos y mínimos registrados por mes, observando que los meses de enero a mayo estuvieron por debajo de la media, el mes de marzo fue el que tuvo menor humedad relativa. Los meses de julio a octubre fue el período más húmedo, estando todos encima de 60 % de media mensual, alcanzando su máximo en septiembre con 74 %.

Tabla 15. Análisis mensual de humedad relativa en la ZMQ, 2024.

Comportamiento de la humedad relativa Zona Metropolitana de Querétaro 2024													
Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Porcentaje (%)													
Máxima absoluta	88	95	87	81	77	98	98	98	98	92	95	95	98
Máxima promedio	69	61	52	54	50	76	93	91	93	84	78	81	74
Media	47	39	30	34	32	56	73	67	74	61	51	55	52
Mínima promedio	24	19	12	15	16	33	46	40	47	34	25	26	28
Mínima absoluta	14	5	5	9	10	11	28	24	32	16	8	10	5
Escala													
	< 11	11.0 - 20	21 - 30	31 - 40	41 - 50	51 - 60	61 - 70	71 - 80	81 - 90	91 - 100			

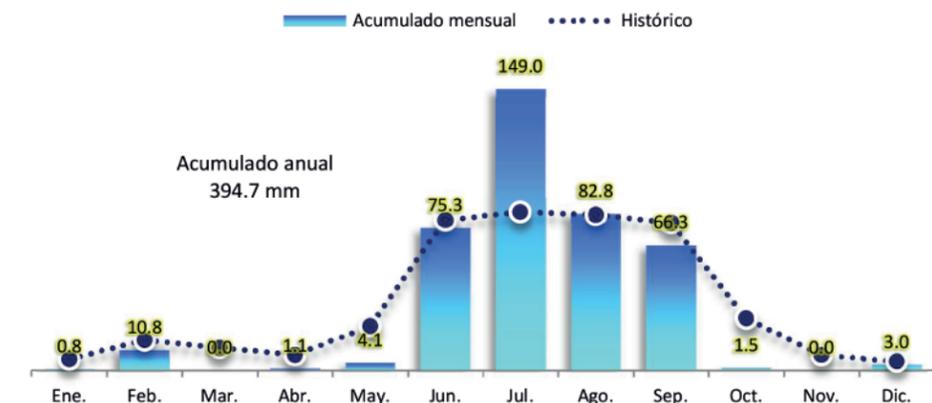
En cuanto al análisis de los promedios por hora del día, se muestran en la gráfica 63, en la cual se observa que entre las 5:00 y 8:00 horas se registró la mayor humedad, estando por encima de 70 % con el máximo a las 7:00 horas. Las horas con menor humedad estuvieron entre las 14:00 y 18:00 horas registrando valores por debajo de 35 %, con su valor más bajo a las 16:00 horas con un 30 %.



Gráfica 63. Promedios por hora del día de humedad relativa (%) ZMQ, 2024.

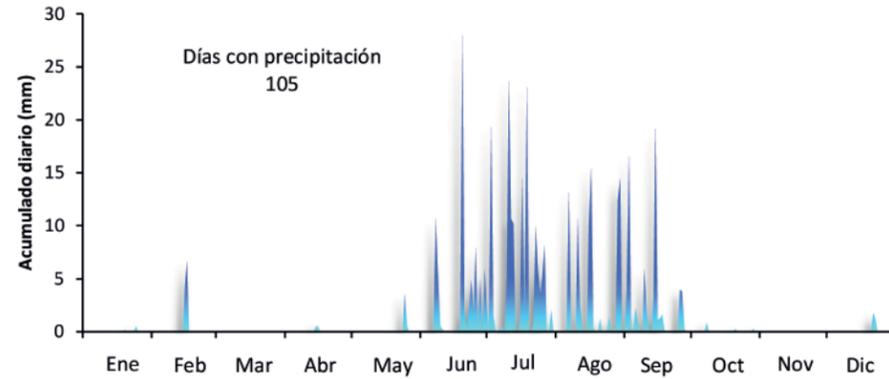
VII.3 Precipitación

En la gráfica 63, se observa la precipitación total acumulada, teniendo el periodo con mayor precipitación los meses de junio a septiembre los que registraron la mayor parte de la precipitación anual en la ZMQ (95 %), el mes de julio con la mayor precipitación (149 mm), registraron precipitaciones encima de los promedios históricos de la CEA (2008 – 2023). El acumulado anual de precipitación fue de 394 mm.



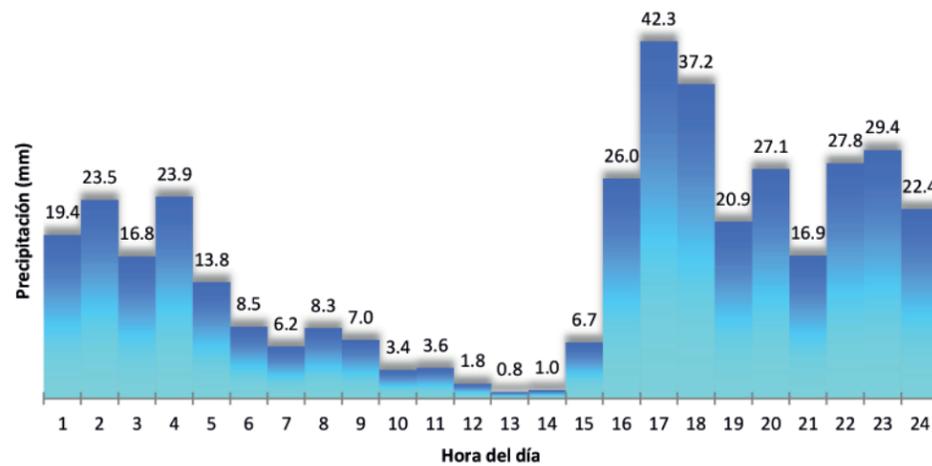
Gráfica 64. Precipitación mensual acumulada (mm), ZMQ, 2024.

Del análisis de días, se observa se registraron un total de 105 días con precipitación principalmente de junio a septiembre. El día que registró mayor precipitación fue el 20 de junio con un total de 28 mm. Gráfica 64.



Gráfica 65. Acumulado diario de precipitación pluvial en la ZMQ, 2024.

Respecto a la precipitación acumulada anual por hora del día presentada en la gráfica 65, se observa que las precipitaciones se presentan entre las 15:00 y las 23:00 horas, registrando el mayor porcentaje de precipitación en este horario. La menor precipitación se registra entre las 10:00 y 14:00 horas por debajo los 5 mm.



Gráfica 66. Acumulado anual de precipitación por hora del día (mm) ZMQ, 2024.

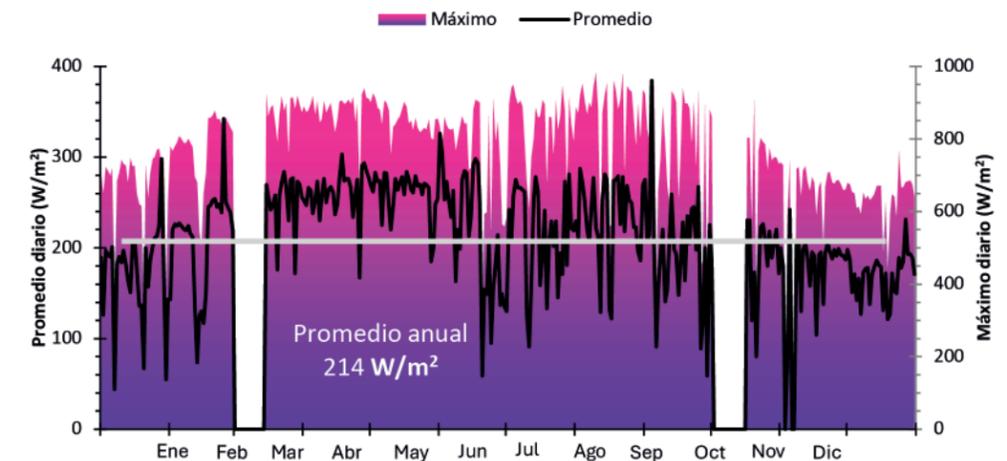
VII.4 Radiación solar

El análisis de radiación solar se realiza con los promedios y máximos diarios como se muestra en la gráfica 68, la cual se presenta en dos escalas diferentes para poder observar mejor su relación durante el año. Asimismo, se precisa que el análisis se realiza considerando solo los máximos dado que el mínimo de radiación solar es cero durante la

noche. Se resaltar además que el sensor estuvo en mantenimiento preventivo por lo que se registran dos periodos sin información.

Como se observa en la gráfica 66, para los meses de marzo a mayo el promedio se mantuvo por encima de la media anual en la mayor parte de los días, en los meses de verano de junio a septiembre, aunque se tuvo mayor variación, los promedios diarios se mantuvieron esencialmente sobre la media anual con algunos días de radiación muy alta, incluso registrando el valor más alto del año.

Para los meses octubre a febrero, la radiación solar fue menor, manteniéndose por debajo de la media anual en la mayor parte de los días. Los máximos se mantuvieron prácticamente constantes, por encima de los 850 W/m² durante el período de marzo a octubre disminuyendo a valores que apenas alcanzaron los 750 W/m² en algunos días en otoño – invierno.



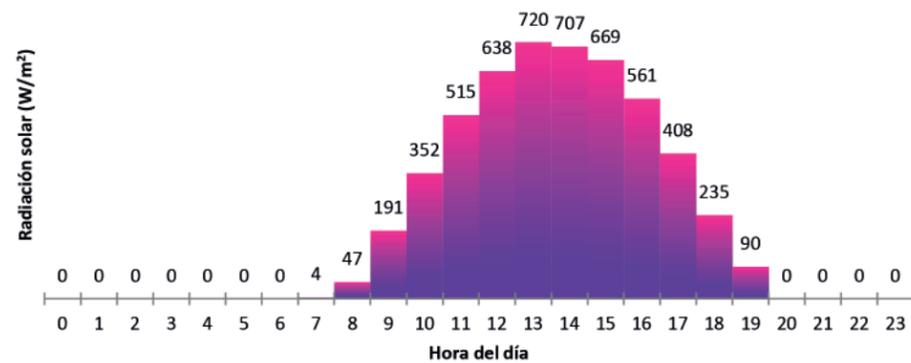
Gráfica 67. Promedios y máximos diarios de radiación solar en ZMQ, 2024.

En el análisis mensual de la radiación solar montado en la tabla 15, muestra la distribución de medias y valores máximos, observando que, en el período de marzo a agosto, las medias mensuales se mantuvieron encima de los 200 W/m² y las máximas promedio por encima de los 800 W/m² (con máximas absolutas mayores a 900).

Tabla 16. Análisis mensual de radiación solar en la ZMQ, 2024.

Comportamiento de la radiación solar Zona Metropolitana de Querétaro 2024													
Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Watts por metro cuadrado (W/m ²)													
Máxima absoluto	774	878	921	939	926	908	949	983	944	906	739	765	983
Máxima promedio	670	781	877	881	855	768	832	865	773	744	677	639	780
Media	174	211	252	261	260	218	214	234	197	189	184	170	214
Escala													
Máximos	< 651	651 - 700	701 - 750	751 - 800	801 - 840	841 - 880	881 - 920	921 - 950	> 950				
Medias	< 181	181 - 190	191 - 200	201 - 210	211 - 220	221 - 230	231 - 240	241 - 250	> 250				

En cuanto a las medias de radiación solar por hora del día, en la gráfica 67 se muestra el comportamiento de la radiación durante el día, observando que la radiación solar se presenta de las 6:30 a las 20:00 horas, que es cuando se tiene luz solar. Así, la mayor radiación solar incidente promedio fue registrado entre las 13:00 y 14:00 horas, cuando el sol da más directamente en la superficie, con valores promedio encima de 700 W/m².

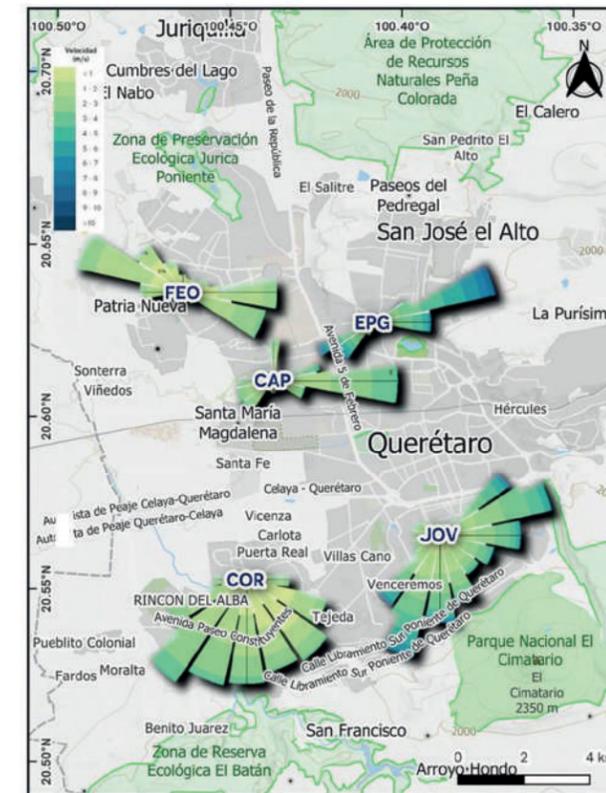


Gráfica 68. Promedios por hora del día de radiación solar (W/m²) en ZMQ, 2024.

VII.5 Viento

El análisis del viento en ZMQ se presenta en el mapa 8 donde se muestran las rosas de viento por estación, las cuales brindan información acerca de la frecuencia de la dirección de donde proviene el viento y la velocidad.

En el caso de la estación CAP, la dirección predominante del viento fue el este, la mayor velocidad registrada fue de 6 m/s, presentando en su mayoría de tiempo velocidades entre los 1 y 3 m/s. En la estación COR, mostró dominancia del viento del sur, con velocidades máximas de 5 m/s y promedio de 1 a 3 m/s. En EPG, fue la que registró velocidades de viento más elevadas, con máximos promedio de hasta 12 m/s, el promedio registrado fue de 5 a 8 m/s. La dirección predominante fue desde el noreste, con un importante porcentaje desde el suroeste. Para la estación FEO tuvo dos direcciones predominantes igual de importantes, la primera desde el noroeste y la otra desde el este – sureste; la máxima velocidad registrada es de 6 m/s, con un promedio entre 1 a 2 m/s y la estación JOV también presenta dos direcciones con porcentajes de frecuencia parecidos la suroeste y el noreste; las velocidades máximas registradas fueron de 11 m/s y el promedio oscilo entre los 4 a 6 m/s.



Mapa 8. Rosas de viento por estación en ZMQ, 2024.

VIII. Conclusiones

Los primeros meses de 2024 se presentaron condiciones meteorológicas desfavorables para la dispersión de contaminantes que contribuyeron al incremento de las concentraciones de algunos de estos, mejorando en época de lluvias en la que los niveles se mantuvieron bajos, posteriormente en la llegada de la época fría se presentaron nuevamente condiciones desfavorables para la dispersión.

En cuanto a la tendencia de los contaminantes NO₂, CO, SO₂ y PM_{2.5}, se mantuvieron o disminuyeron ligeramente en sus concentraciones anuales respecto a años anteriores, sin embargo, el O₃ y las PM₁₀ mostraron una tendencia ascendente.

Respecto a las tendencias en diferentes escalas temporales, los meses de enero a mayo fueron de alta concentración en todos, la época de julio a octubre fue de bajas concentraciones de contaminantes debido a la lluvia, humedad alta y buena dispersión, durante noviembre y diciembre las concentraciones aumentaron de nuevo.

En el comportamiento por día de la semana, se observó se tuvo una mayor concentración entre los martes y viernes. El ozono fue la excepción, ya que las mayores concentraciones promedio ocurrieron en sábado y domingo en todas las estaciones. En el comportamiento por hora del día, el NO₂, CO, partículas PM_{2.5} y PM₁₀ mostraron dos periodos de concentraciones elevadas, uno matutino y uno vespertino. El ozono, solo tuvo un periodo de concentraciones más elevadas entre las 13:00 y 17:00 horas. Por su parte, el SO₂, mostró una mayor concentración cerca de las 11:00 horas en ZMQ y en SJU presentó algunas otras horas de alta concentración entre las 22:00 y 2:00 horas.

En cuanto a la evaluación normativa para 2024, se destaca que todas las estaciones los contaminantes superaron, el porcentaje de compleción de datos exigida por sus normas oficiales mexicanas (NOM), resaltando el buen desempeño del SMCAQ a lo largo del año.

En cuanto al cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas en materia de salud ambiental para cada contaminante, se tuvieron los siguientes resultados:

- El dióxido de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO) y dióxido de azufre (SO₂) cumplieron con los LMP en todas las estaciones.
- El ozono (O₃) y partículas PM_{2.5} y PM₁₀ estuvieron arriba del LMP en todas las estaciones en ZMQ y SJU.

Sobre el Índice AIRE Y SALUD (IAS) establecido en la NOM-172-SEMARNAT-2023, que establece las condiciones de la calidad del aire conforme a las Bandas IAS de forma horaria

y que como se comentó en el documento esta NOM se actualizó en 2023 y entró en vigor el 23 de julio de 2024 por lo que la evaluación se realizó considerando dos periodos, el primero del 1 de enero al 22 de julio evaluado con la NOM-172-SEMARNAT-2019 y el segundo del 23 de julio al 31 de diciembre evaluado con la NOM-172-SEMARNAT-2023. El comportamiento del IAS fue el siguiente:

- El dióxido de nitrógeno (NO₂) se mantuvo en niveles bajos, el nivel más alto que se reportó fue de calidad del aire aceptable en todas las estaciones, con un porcentaje de horas en esta condición menor al 1 % y con buena calidad del aire más del 99% de horas. En cuanto a los días en total para ZMQ fueron 25 días en lo que al menos una hora reportó calidad del aire aceptable y en SJU solo 5 días en esta condición, esto en los meses de noviembre y diciembre.
- El monóxido de carbono (CO) fue el contaminante que tuvo niveles más bajos, registró buena calidad en todas las horas del año en todas las estaciones.
- El ozono (O₃), registró un incremento de días y horas con mala calidad del aire, muy mala, alcanzando incluso calidad extremadamente mala durante el mes de mayo. El porcentaje de horas en calidad mala o superior estuvo entre el 0.6 y 5.8% de las horas totales del año, la calidad aceptable entre el 13 y 21 % de las horas del año. Se registraron un total 78 días con buena calidad del aire en ZMQ y 157 días en SJU; con 201 días con calidad del aire aceptable en ZMQ y 141 días en SJU; los días con calidad del aire mala o superior fueron 86 días en la ZMQ y 67 días en SJU presentados especialmente en el período de febrero a junio.
- El dióxido de azufre (SO₂) se mantuvo durante la mayor parte del año con buena calidad del aire, presentado elevaciones esporádicas en algunas estaciones. La estación FEO con buena calidad del aire durante todo el año. Las demás estaciones tuvieron horas con calidad del aire aceptable, 0.01 % de horas en JOV, hasta 8 % de horas en SJU. Sin embargo, también se registraron horas de calidad mala o superior siendo 3 horas del año en la estación COR y 2 horas en la estación SJU. En cuanto al conteo de días por máximo IAS alcanzado, se tuvieron 33 días de calidad del arie aceptable y 1 día con muy mala calidad del arie en ZMQ mientras que en SJU fueron 50 días de calidad del arie aceptable y 2 días con mala calidad del aire. La mayor parte de los días estuvo concentrada en el período de enero a mayo.
- Las partículas PM_{2.5} registraron entre el 1.1 y 2.3 % de horas en calidad mala o superior y entre el 13 y 18 % de horas con calidad del aire aceptable. En total para ZMQ se tuvieron 114 días con buena calidad del arie, 173 días con calidad del aire aceptable, 73 días con mala calidad del aire y 4 con muy mala calidad del aire y 1 día con extremadamente mala, este último el 1 de enero; para SJU 192 días con buena calidad del aire, 131 días con

calidad del aire aceptable, 38 con mala calidad del aire. La mayor parte de los días con mala calidad del aire se registraron entre febrero y mayo.

- Las partículas PM₁₀ registro el 13.7 % de horas al año con mala calidad del aire o superior y el 17 % de horas del año en calidad del aire aceptable. En cuanto a los días se registraron 134 días con buena calidad del aire, 46 días con calidad del aire aceptable, 162 días con mala calidad del aire y 19 días con muy mala calidad del aire. Los días con más mala calidad del aire fueron principalmente en los meses de enero y junio.

En cuanto al comportamiento de las variables meteorológicas en la Zona Metropolitana de Querétaro se observó lo siguiente:

La temperatura media fue 20.7°C con una máxima de 37.9°C en mayo y mínima de 3.9°C en diciembre. La media máxima diaria fue de 28.4°C y la mínima media diaria fue de 13.3°C; la media máxima mensual fue de 27.2°C en el mes de mayo y la media menor de 16.5°C en diciembre.

La humedad relativa media anual fue de 52 %, la máxima anual de 98 % y la mínima de 5 %. La media mínima diaria de 28 % y la máxima diaria de 74 %. El mes más húmedo fue septiembre con un promedio de 74 %. El mes de marzo, presentó la menor humedad siendo la media de 30 %.

La radiación solar media fue de 214 W/m², la máxima registrada en una hora fue de 983 W/m² en agosto. La media máxima diaria fue de 780 W/m². El mes con mayor radiación solar promedio fue abril con promedio de 261 W/m² y el menor fue diciembre con una media de 170 W/m².

La precipitación pluvial total acumulada fue de 394.7 mm. El mes más lluvioso fue julio, acumulando 149.0 mm, los meses de noviembre y marzo no registraron precipitaciones. En total fueron 105 días con precipitación, el 20 de junio el día con más acumulación registrando 28 mm.

El viento presentó dos tendencias, la primera en las estaciones del poniente (CAP y FEO), donde la dirección dominante fue desde el este, alcanzando cerca del 50 % del total de las frecuencias con importantes minorías desde el oeste. La segunda en las estaciones del oriente (EPG y JOV) donde el viento provino mayormente desde la dirección noreste con un importante porcentaje desde el suroeste. La mayor velocidad promedio ocurrió en la estación EPG mientras que las velocidades menores se registraron en COR y FEO.

REFERENCIAS

- **Diario Oficial de la Federación 16/07/2012. Norma Oficial Mexicana NOM-156-SEMARNAT-2012, Establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire.**
- **Diario Oficial de la Federación 20/08/2019. Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2019 Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO₂). Valores normados para la concentración de dióxido de azufre (SO₂) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.**
- **Diario Oficial de la Federación. Actualización de la Norma Oficial Mexicana NOM-172-SEMARNAT-2023, Lineamientos para la obtención y comunicación del Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud.**
- **Diario Oficial de la Federación 20/11/2019. Norma Oficial Mexicana NOM-172-SEMARNAT-2019, Lineamientos para la obtención y comunicación del Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud.**
- **Diario Oficial de la Federación 24/10/20, Norma Oficial Mexicana NOM-023-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de nitrógeno (NO₂). Valores normados para la concentración de dióxido de nitrógeno (NO₂) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.**
- **Diario Oficial de la Federación 27/10/2021. Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las partículas suspendidas PM₁₀ y PM_{2.5}. Valores normados para la concentración de partículas suspendidas PM₁₀ y PM_{2.5} en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.**
- **Diario Oficial de la Federación 28/10/2021. Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al ozono (O₃). Valores normados para la concentración de ozono (O₃) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.**
- **Diario Oficial de la Federación 29/10/2021. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al monóxido de carbono (CO). Valores normados para la concentración de monóxido de carbono (CO) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.**



ESTADO Y TENDENCIAS **DE LA CALIDAD DEL AIRE** DEL ESTADO DE QUERÉTARO

AÑO 2024



SECRETARÍA DE
**DESARROLLO
SUSTENTABLE**



QUERÉTARO
GOBIERNO DEL ESTADO
Juntos, Adelante

CONTIGO
TODOS AVANZAMOS

"Este programa es público, ajeno a cualquier partido político.
Queda prohibido el uso para fines distintos a los establecidos en el programa".

