



SECRETARÍA DE
DESARROLLO
SUSTENTABLE



QUERÉTARO
GOBIERNO DEL ESTADO
Juntos Adelante

INFORME DEL ESTADO Y TENDENCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE 2022

Sistema de Monitoreo de Calidad
del Aire del Estado De Querétaro (SMCAQ)



SECRETARÍA DE
DESARROLLO
SUSTENTABLE



QUERÉTARO
GOBIERNO DEL ESTADO
Juntos Adelante

Informe de Estado y Tendencia de la Calidad del Aire del Estado de Querétaro

2022

Sistema de Monitoreo de Calidad del Aire
del Estado de Querétaro (SMCAQ)



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

Directorio

Mauricio Kuri González

Gobernador Constitucional del Estado de Querétaro

Marco Antonio Salvador del Prete Tercero

Secretario de Desarrollo Sustentable

Ricardo Javier Torres Hernández

Subsecretario del Medio Ambiente

Teófilo Mario Gómez Su

Director de Control Ambiental

Elaborado por:

Servicios Ambientales Integrales de Consultoría y Cambio Climático S.C. (SACYCC)

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

Blvd. Bernardo Quintana No. 204, Carretas C.P. 76050
Querétaro, Qro. marzo 2023.

Resumen Ejecutivo

El Gobierno del Estado de Querétaro a través de la Secretaría de Desarrollo Sustentable, tiene como objetivo generar información veraz y oportuna sobre la calidad del aire, por lo que, a través de un proceso de mejora continua se han fortalecido los controles operativos y mejorado la infraestructura del Sistema de Monitoreo de Calidad del Aire del Estado de Querétaro (SMCAQ). Este sistema cuenta con siete estaciones de monitoreo en la Zona Metropolitana de Querétaro (ZQM) y una estación en San Juan del Río (SJR), las cuales atienden los criterios establecidos en la NOM-156-SEMARNAT-2012¹ y NOM-172-SEMARNAT-2019². Monitoreando 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.

El presente documento se realiza con la finalidad de contar con un panorama claro sobre la situación de la calidad del aire en el Estado de Querétaro, identificado los principales contaminantes que se deben atender, así como las zonas que requieren mayor atención. El análisis presentado muestra desde comportamientos horarios, diarios, semanales, mensuales y anuales de cada contaminante por estación de monitoreo, así como el cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas en Materia de Salud Ambiental, así como del índice de Calidad del Aire y Riesgos en Salud (ICARS) establecido en la NOM-172-SEMARNAT-2019. Asimismo, se presenta el comportamiento de variables meteorológicas, las cuales representan un papel primordial en el comportamiento de la calidad del aire, dado que depende de su comportamiento desfavorecen o favorecen la dispersión de contaminantes.

Con el análisis realizado a partir de los datos generados en cada estación durante el año 2022, los resultados muestran en promedio más del 97.5% de datos validados, con lo cual todas las estaciones cumplieron y superaron el porcentaje establecido en las Normas Oficiales Mexicana. Esto se ha logrado a través del esfuerzo realizado en los últimos tres años por parte del Gobierno Estatal para fortalecer el SMCAQ mediante renovación de equipos y de la implementación de un Sistema de Gestión de Calidad lo que ha permitido fortalecer los procesos y procedimientos tanto de operación, mantenimiento y calibración de equipos, como de los sistemas de información que permiten mantener informada a la población sobre el estado de la calidad del aire en tiempo real a través de la página web <http://aire.cemcaq.mx/>, app móvil ambiente QRO, Sistema Nacional de Información de Calidad del Aire (SINAICA) <https://sinaica.inecc.gob.mx/> y a en twitter @CeMCAQ.

¹ SEMARNAT, 2012. NOM-156-SEMARNAT-2012, Establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire.

² SEMARNAT, 2019. Lineamientos para la obtención y comunicación del Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud.

Del análisis realizado se observa que para el año 2022 en la Zona Metropolitana de Querétaro los contaminantes dióxido de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂) cumplieron con los límites máximos permisibles (LMP) que establecen las Normas Oficiales Mexicanas en materia de salud ambiental, en tanto el Ozono (O₃), las Partículas PM_{2.5} y PM₁₀ no cumplieron con LMP que establecidos. En San Juan del Río todos los contaminantes cumplieron con los límites máximos permisibles (LMP) que establecen las Normas Oficiales en materia de salud ambiental a excepción de las partículas PM_{2.5}.

Sobre el análisis del índice de aire y salud (ICARS) para la Zona Metropolitana de Querétaro considerando el comportamiento anual de todos los contaminantes en todas las estaciones, asumiendo que con una hora que haya estado en la condición más alta se asume que todo el día en esa condición, con este criterio se observó que el 64% estuvo con calidad del aire buena y aceptable, el 30% con calidad del aire mala, 5% con muy mala y 1% con extremadamente mala. Para San Juan Río se obtuvo que el 93% se tuvo calidad del aire buena y aceptable, 7% mala y menos del 1% (es decir solo 1 día) con calidad del air muy mala.

En los apartados del documento se podrán apreciar de manera más detallada el comportamiento de cada uno de los contaminantes en cada estación, así como de las variables meteorológicas monitoreadas durante el 2022.

Contenido

I. Antecedentes	11
II. Fuente de emisión y efectos en salud	12
III. Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire del Estado de Querétaro (SMCAQ)	16
III.1 Descripción del SMCAQ	17
III.2 Sistema de Gestión de Calidad (SGC).	22
III.3 Publicación de información	23
IV. Compleción de datos obtenidos en 2022	25
IV. Análisis de contaminantes	26
V.1. Comportamiento	26
V.1.1 Dióxido de nitrógeno (NO ₂).	26
V.1.2 Monóxido de carbono (CO).	27
V.1.3 Ozono (O ₃).	28
V.1.4 Dióxido de azufre (SO ₂).	30
V.1.5 Partículas menores a 2.5 micras (PM _{2.5}).	31
V.1.6 Partículas menores a 10 micras (PM ₁₀).	32
V.2 Cumplimiento de Normas de salud	34
V.2.1 Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	35
V.2.2 Monóxido de carbono (CO).	37
V.2.3 Ozono (O ₃).	39
V.2.4 Dióxido de azufre (SO ₂).	41
V.2.5 Material particulado menor a 2.5 micras (PM _{2.5}).	43
V.2.6 Material particulado menor a 10 micras (PM ₁₀).	45
V.3 Índice de Calidad de Aire y Riesgos a la Salud (ICARS)	47
V.3.1 Dióxido de nitrógeno (NO ₂).	47
V.3.2 Monóxido de carbono (CO).	50

V.3.3 Ozono (O ₃).	53
V.3.4 Dióxido de azufre (SO ₂).	59
V.3.5 Partículas menores a 2.5 micras (PM _{2.5}).	63
V.3.6 Partículas menores a 10 micras (PM ₁₀).	68
V. Cumplimiento normativo del SMCAQ	72
VI. Meteorología.	80
VII.1 Temperatura.	80
VII.2 Humedad relativa.	81
VII.3 Radiación solar e índice UV.	83
VII.4 Precipitación.	85
VII.5 Viento.	86
VII. Conclusiones y perspectivas	88
Referencias	90
Conceptos	92

Figuras

Figura 1. Estructura del Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire del Estado de Querétaro.....	21
---	----

Gráficas

Gráfica 1. Compleción de datos por estación SMCA 2022.....	23
Gráfica 2. Porcentaje de datos válidos por estación, SMCAQ 2022.....	25
Gráfica 3. Comportamiento temporal de NO ₂ . Año 2022.....	27
Gráfica 4. Comportamiento temporal de CO. Año 2022.....	28
Gráfica 5. Comportamiento temporal de O ₃ . Año 2022.....	29
Gráfica 6. Comportamiento temporal del SO ₂ . Año 2022.....	31
Gráfica 7. Comportamiento temporal de PM _{2.5} . Año 2022.....	32

Gráfica 8. Comportamiento temporal de PM ₁₀ . Año 2022.....	33
Gráfica 9. Porcentaje de datos válidos de dióxido de nitrógeno.....	35
Gráfica 10. Máximo valor de promedio horario de dióxido de nitrógeno por estación.....	36
Gráfica 11. Promedio anual de dióxido de nitrógeno por estación.....	36
Gráfica 12. Porcentaje de datos válidos de monóxido de carbono.....	37
Gráfica 13. Máximo valor de promedio horario de monóxido de carbono por estación.....	38
Gráfica 14. Máximo valor de promedio móvil de 8 horas de monóxido de carbono por estación.....	38
Gráfica 15. Porcentaje de días con promedios válidos de ozono.....	39
Gráfica 16. Máximo valor de promedio horario de ozono por estación.....	40
Gráfica 17. Máximo valor de promedio móvil de 8 horas de ozono por estación.....	40
Gráfica 18. Porcentaje de días con promedios válidos de dióxido de azufre por trimestre.....	41
Gráfica 19. Promedio aritmético de los percentiles 99 de los máximos diarios de 1 hora de dióxido de azufre por estación.....	42
Gráfica 20. Máximo valor de 24 horas de dióxido de azufre por estación.....	42
Gráfica 21. Porcentaje de días con promedios válidos de partículas PM _{2.5} por trimestre.....	43
Gráfica 22. Máximo promedio de 24 horas del percentil 99 por estación para PM _{2.5}	44
Gráfica 23. Promedio anual de PM _{2.5} por estación.....	44
Gráfica 24. Porcentaje de días con promedios válidos de partículas PM ₁₀ por trimestre.....	45
Gráfica 25. Máximo promedio de 24 horas del percentil 99 en la estación CAP para PM ₁₀	46
Gráfica 26. Promedio anual de PM ₁₀ en la estación CAP.....	46

Mapas

Mapa 1. Estaciones ubicadas en la Zona Metropolitana de Querétaro, 2022.....	17
Mapa 2. Estación ubicada en el municipio de San Juan del Río, 2022.....	18
Mapa 3. Mapa de rosas de viento por estación en la ZMQ. Año 2022.....	87

Imágenes

Imagen 1. Infografía del dióxido de nitrógeno (NO ₂). Elaboración propia.....	12
Imagen 2. Infografía del monóxido de carbono (CO). Elaboración propia.....	13
Imagen 3. Infografía del ozono (O ₃). Elaboración propia.....	14
Imagen 4. Infografía del dióxido de azufre (SO ₂). Elaboración propia.....	14
Imagen 5. Infografía del material particulado (PM). Elaboración propia.....	15
Imagen 6. Calendario ICARS de NO ₂ en la ZMQ. Año 2022.....	48
Imagen 7. Calendario ICARS de NO ₂ en SJR. Año 2022.....	49
Imagen 8. Calendario ICARS de CO en la ZMQ. Año 2022.....	51
Imagen 9. Calendario ICARS de CO en SJR. Año 2022.....	52
Imagen 10. Calendario ICARS de O ₃ en la ZMQ. Año 2022.....	54
Imagen 11. Calendario ICARS de O ₃ en SJR. Año 2022.....	55
Imagen 12. Calendario ICARS de SO ₂ en la ZMQ. Año 2022.....	60
Imagen 13. Calendario ICARS de SO ₂ en SJR. Año 2022.....	61
Imagen 14. Calendario ICARS de PM _{2.5} en la ZMQ. Año 2022.....	64
Imagen 15. Calendario ICARS de PM _{2.5} en SJR. Año 2022.....	65
Imagen 16. Calendario de PM ₁₀ en la ZMQ. Año 2022.....	69
Imagen 17. Calendario ICARS de todos los contaminantes monitoreados estación CAP. Año 2022.....	74
Imagen 18. Calendario ICARS de todos los contaminantes monitoreados estación COR. Año 2022.....	75
Imagen 19. Calendario ICARS de todos los contaminantes monitoreados estación EPG. Año 2022.....	76

Imagen 20. Calendario ICARS de todos los contaminantes monitoreados estación FEO. Año 2022.....	77
Imagen 21. Calendario ICARS de todos los contaminantes monitoreados estación JOV. Año 2022.....	78
Imagen 22. Calendario ICARS de todos los contaminantes monitoreados en SJR. Año 2022.....	79

Tablas

Tabla 1. Rangos del Índice de Aire y Salud para cada contaminante criterio.....	24
Tabla 2. Cumplimiento de NOM por contaminante en cada estación del SMCAQ. Año 2022.....	25
Tabla 3. Límites Máximos Permisibles de Normas de Salud Ambiental vigentes en el año 2022.....	34
Tabla 4. Cumplimiento de NOM-023-SSA1-2021.....	36
Tabla 5. Cumplimiento de NOM-021-SSA1-2021.....	38
Tabla 6. Cumplimiento de NOM-020-SSA1-2021.....	40
Tabla 7. Cumplimiento de NOM-022-SSA1-2019.....	42
Tabla 8. Cumplimiento de NOM-025-SSA1-2021 para PM _{2.5}	44
Tabla 9. Cumplimiento de NOM-025-SSA1-2021 para PM ₁₀ en la ZMQ.....	46
Tabla 10. Cumplimiento de NOM del SMCAQ por contaminante por estación. Año 2022.....	72
Tabla 11. Cumplimiento de NOM por contaminante por ciudad. Año 2022.....	73
Tabla 12. Perfil mensual de temperatura en la ZMQ. Año 2022.....	80
Tabla 13. Perfil mensual de la humedad relativa en la ZMQ. Año 2022.....	82
Tabla 14. categoría de exposición a la radiación UV.....	84

Acrónimos

CAP	Estación de Monitoreo Carrillo Puerto
CC	Contaminante criterio
CO	Monóxido de Carbono
COR	Estación de Monitoreo Corregidora
EMA	Estación de Monitoreo El Marqués
EPG	Estación de Monitoreo Epigmenio González
FEO	Estación de Monitoreo Félix Osores
ICARS	Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud
JOV	Estación de Monitoreo Josefa Vergara
LMP	Límite Máximo Permisible
NO₂	Dióxido de Nitrógeno
O₃	Ozono
PCAA	Plan de Contingencias Atmosféricas Ambientales
PM₁₀	Partículas menores a 10 micrómetros
PM_{2.5}	Partículas menores a 2.5 micrómetros
ppb	Partes por billón
ppm	Partes por millón
SGC	Sistema de Gestión de Calidad
SJU	Estación de Monitoreo San Juan del Río
SMCA	Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire
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
SJR	Ciudad de San Juan del Río

I. Antecedentes

Lo que no se mide no se controla, por lo que el monitoreo atmosférico es uno de los principales indicadores que permiten saber cómo está la calidad del aire en un área determinada, y es una herramienta importante de gestión para establecer acciones de prevención y control de la contaminación atmosférica, la cual tiene una influencia en la salud humana. En este sentido, el monitoreo atmosférico es una fuente de información para la ciudadanía sobre los niveles de contaminación, siendo de gran utilidad para realizar acciones de prevención.

Por ello, para el Gobierno del Estado a través de la Secretaría de Desarrollo Sustentable (SEDESU) es una prioridad dar continuidad a los esfuerzos iniciados en el año de 2000 cuando se instaló la primera estación de monitoreo. Por lo que, a partir de julio de 2020 se han realizado esfuerzos importantes para renovar estaciones de monitoreo y fortalecer actividades de operación, mantenimiento y calibración de equipos, así como de validación y publicación de la información, para asegurar que se cuente con información veraz y oportuna, para que la población pueda consultar en tiempo real cómo está la calidad del aire.

Este informe, representa el resultado del esfuerzo realizado a través de un proceso de mejora continua y el compromiso de continuar fortaleciendo el Sistema de Monitoreo de Calidad del Aire del Estado de Querétaro (SMCAQ), de esta forma mantener informada a la población sobre el estado de la calidad del aire en tiempo real. En el proceso de mejora se han fortalecido los controles operativos y mejorado la infraestructura no solo de equipo de monitoreo, también de software para lograr una mejor sistematización del proceso de validación de información.

El presente documento muestra el estado actual del SMCAQ, así como las tendencias de los contaminantes monitoreados en cada una de las estaciones. Uno de los retos más importantes que enfrenta hoy el SMCAQ es continuar generando información de calidad, veraz y oportuna para la difusión permanente de la calidad del aire, que coadyuve a generar una mayor conciencia en la población y un conocimiento más amplio sobre la importancia de cuidar el medio ambiente y la preservación de los recursos naturales, aspectos estrechamente ligados al desarrollo económico y social.

II. Fuente de emisión y efectos en salud

Los contaminantes criterio³ son aquellos que se les han establecido un límite máximo permisible de concentración en el aire ambiente, con la finalidad de proteger la salud humana y asegurar el bienestar de la población. Los contaminantes criterio que se miden de manera continua son los siguientes:

- Ozono (O₃)
- Dióxido de azufre (SO₂)
- Monóxido de carbono (CO)
- Dióxido de nitrógeno (NO₂)
- Partículas en suspensión (PM₁₀ y PM_{2.5})

A continuación, se describe cada uno de manera breve y sus posibles efectos en la salud.

Dióxido de nitrógeno (NO₂)

Junto al óxido nítrico (NO) forma el grupo llamado “NOx”. Causa efectos adversos en la salud, sobre todo en grupos sensibles (niños, personas de la tercera edad, mujeres embarazadas y personas con enfermedades cardiorrespiratorias), y es precursor en la formación de ozono troposférico. Imagen 1.

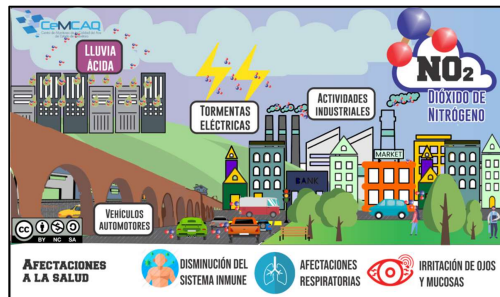


Imagen 1. Infografía del dióxido de nitrógeno (NO₂)⁴. Elaboración propia.

³ NOM-172-SEMARNAT-2019. Lineamientos para la obtención y comunicación del Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud.

⁴ NOM-023-SSA1-2021. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de nitrógeno (NO₂).

Monóxido de carbono (CO).

Proviene principalmente de actividades humanas como la quema de combustibles. En contacto con el torrente sanguíneo forma carboxihemoglobina, que provoca apnea (sueño) e incluso la muerte en muy altas concentraciones. Imagen 2.

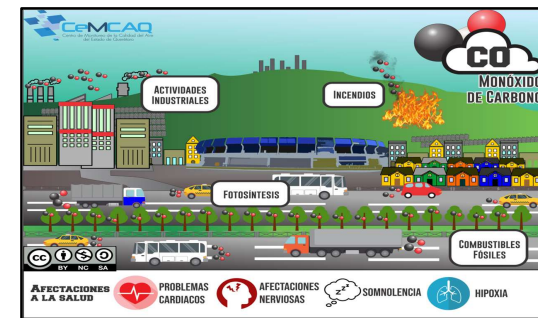


Imagen 2. Infografía del monóxido de carbono (CO)⁵. Elaboración propia.

Ozono (O₃).

El ozono es un gas incoloro formado por tres átomos de oxígeno que existe a nivel de la superficie de la tierra (ozono troposférico, también llamado “malo”) y a nivel estratosférico (ozono estratosférico también llamado “bueno”). El ozono “malo”, que es el que miden las estaciones de monitoreo, es un contaminante secundario, es decir, no se emite como tal, sino que se forma a partir de otros contaminantes, específicamente los NO_x y los compuestos orgánicos volátiles (COV) para este caso, en presencia de luz del sol. También es uno de los componentes del smog. Imagen 3.

⁵ NOM-021-SSA1-2021. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al monóxido de carbono (CO).

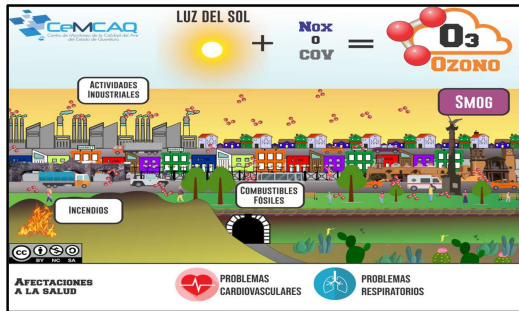


Imagen 3. Infografía del ozono (O₃)⁶. Elaboración propia.

Dióxido de azufre (SO₂).

Junto a otros óxidos de azufre forma el grupo llamado "SO_x". El dióxido de azufre es un gas extremadamente irritante y forma lluvia ácida, además, de problemas graves de salud. Imagen 4.



Imagen 4. Infografía del dióxido de azufre (SO₂)⁷. Elaboración propia.

⁶ NOM-020-SSA1-2021. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al Ozono (O₃).

⁷ NOM-022-SSA1-2019. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO₂).

Material particulado (PM).

El material particulado (PM por sus siglas en inglés) es un contaminante del aire, incluye una mezcla compleja de una gran variedad de pequeñas partículas líquidas y sólidas, suspendidas en el aire. Tiene un origen tanto primario como secundario y tienen un origen diverso, ya que puede incluir nitratos, sulfatos, metales, carbón, compuestos orgánicos y compuestos biológicos. Imagen 5.



Imagen 5. Infografía del material particulado (PM)⁸. Elaboración propia.

En México, el material particulado se divide en dos por normatividad: material particulado menor a 10 micras (PM₁₀) y material particulado menor a 2.5 micras (PM_{2.5}).

Esta diferencia de tamaños hace que tengan contrastes en cuanto a sus efectos en la salud, sobre todo en el aparato respiratorio. Las PM₁₀ llamadas "fracción inhalable o torácica" pueden penetrar en el aparato respiratorio y acumularse. Las PM_{2.5} llamadas "fracción alveolar" son retenidas en las vías respiratorias superiores, causando efectos respiratorios, circulatorios y mutagénicos graves⁹.

⁸ NOM-025-SSA1-2021. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al material particulado.

⁹ Salinas, Hernández, & Godínez, 2014

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

La Secretaría de Desarrollo Sustentable del Poder Ejecutivo del Estado (SEDESU), es la responsable de la operación del Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire del Estado de Querétaro (SMCAQ), el cual tiene como objetivo generar información veraz y oportuna sobre la calidad del aire, para conocer los niveles de exposición de la población e informar oportunamente sobre la contaminación del aire y sus posibles riesgos a la salud.

La operación del SMCAQ se realiza conforme a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-156-SEMARNAT-2012¹⁰ para el establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire. En ella se especifican las condiciones mínimas que deben ser observadas para el establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire, y señala los parámetros de establecimiento de un Sistema de Monitoreo de la Calidad del aire, su estructuración, cumplimiento funcional de cada una de las partes de la estructura, el establecimiento, operación y mantenimiento de estaciones de monitoreo, gestión y aseguramiento de calidad y el manejo de los datos de la calidad de aire, con el fin de que el sistema tenga un correcto funcionamiento, el cual asegure que los datos obtenidos son de calidad.

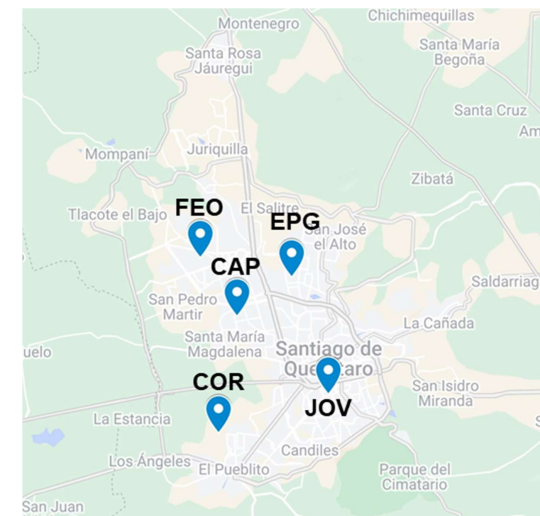
Asimismo, esta norma especifica las características de una población en la que debe establecerse un Sistema de Monitoreo de Calidad de Aire: zonas metropolitanas, poblaciones mayores a 500 mil habitantes, asentamientos humanos con emisiones mayores a 20 mil toneladas de contaminantes primarios, conurbaciones y zonas con actividad industrial que requiera monitoreo. Dando cumplimiento a ello, en el Estado de Querétaro se cuenta con monitoreo en la Zona Metropolitana de Querétaro y San Juan del Río. En este sentido, la ubicación de las estaciones de monitoreo atiende los criterios establecidos en esta NOM, con lo cual se asegura que el SMCAQ es representativo.

Por otro lado, se resalta que en el primer trimestre del 2021 el SMCAQ se incorporó al Sistema Nacional de Información de Calidad del Aire (SINAICA) por lo que la información que se genera en tiempo real también es reportada en este sistema nacional.

¹⁰ SEMARNAT, 2012. NOM-156-SEMARNAT-2012, Establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire.

III.1 Descripción del SMCAQ

A partir de julio de 2020 se han realizado esfuerzos importantes para renovar estaciones de monitoreo que habían concluido su vida útil, contando actualmente con seis estaciones automáticas fijas, operando cinco en ZMQ y una en SJR las cuales operan de forma continua los 365 días del año. En el mapa 1 se muestra la ubicación de las estaciones operando en ZMQ y en el mapa 2 la ubicación de la estación de SJR.



Mapa 1. Estaciones ubicadas en la Zona Metropolitana de Querétaro, 2022.
Fuente elaboración propia.




Mapa 2. Estación ubicada en el municipio de San Juan del Río, 2022.
 Fuente elaboración propia.

Parámetros medidos por estación de monitoreo.

A continuación, se muestran los parámetros medidos en cada una de las estaciones de monitoreo:

• **Estación Carrillo Puerto (CAP).**



Ubicación:
 Alfonso Reyes 319. Col. Plutarco Elías Calles.
 CP 76134. Santiago de Querétaro, Qro.

Coordenadas:
 20°36'38.15"N, 100°26'15.35"O

Contaminantes criterios medidos:

O ₃	Ozono
SO ₂	Dióxido de azufre
CO	Monóxido de carbono
NO ₂	Dióxido de nitrógeno
PM ₁₀	Partículas menores a 10 micras

VARIABLES meteorológicas

VV	Velocidad de viento
DV	Dirección de viento
TM	Temperatura
HR	Humedad Relativa
PB	Presión barométrica
PP	Precipitación pluvial

• **Estación Félix Osoros (FEO)**



Ubicación:
 Kiliwas s/n, Col. Cerrito Colorado,
 CP 76116. Santiago de Querétaro, Qro.

Coordenadas:
 20°38'9.82"N, 100°27'49.94"O


Contaminantes criterios medidos:

O ₃	Ozono
SO ₂	Dióxido de azufre
CO	Monóxido de carbono
NO ₂	Dióxido de nitrógeno
PM _{2.5}	Partículas menores a 2.5 micras

VARIABLES meteorológicas

VV	Velocidad de viento
DV	Dirección de viento
TM	Temperatura
HR	Humedad Relativa
PB	Presión barométrica
PP	Precipitación pluvial
RS	Radiación solar

• **Estación Corregidora (COR)**



Ubicación:
 Ex hacienda El Cerrito 100, Col. El Pueblito,
 CP 76900. Santiago de Querétaro, Qro.

Coordenadas:
 20°33'10.05"N, 100°26'43.95"O

Contaminantes criterios medidos:

O ₃	Ozono
SO ₂	Dióxido de azufre
CO	Monóxido de carbono
NO ₂	Dióxido de nitrógeno
PM _{2.5}	Partículas menores a 2.5 micras

VARIABLES meteorológicas

VV	Velocidad de viento
DV	Dirección de viento
TM	Temperatura
HR	Humedad Relativa
PB	Presión barométrica

• Estación Epigmenio González (EPG)



Ubicación:
Tiáloc 102, Col. Desarrollo San Pablo,
CP 76000, Santiago de Querétaro, Qro.

Coordenadas:
20°37'39"N, 100°24'31.0"O

Contaminantes criterios medidos:
O₃ Ozono
SO₂ Dióxido de azufre
CO Monóxido de carbono
NO₂ Dióxido de nitrógeno
PM_{2.5} Partículas menores a 2.5 micras

Variables meteorológicas
VV Velocidad de viento
DV Dirección de viento
TM Temperatura
HR Humedad Relativa
PB Presión barométrica

• Estación Josefa Vergara (JOV)



Ubicación:
Calle 21 1000, Col. Lomas de Casablanca,
CP 76080, Santiago de Querétaro, Qro.

Coordenadas:
20°33'57.11"N, 100°23'21.07"O

Contaminantes criterios medidos:
O₃ Ozono
SO₂ Dióxido de azufre
CO Monóxido de carbono
NO₂ Dióxido de nitrógeno

Variables meteorológicas
VV Velocidad de viento
DV Dirección de viento
TM Temperatura
HR Humedad Relativa
PB Presión barométrica

• Estación San Juan del Río (SJU)



Ubicación:
Río Caribe 38 Sección 8, San Cayetano,
CP 76806, San Juan del Río, Qro.

Coordenadas:
20°23'21.06"N, 99°58'25.01"O

Contaminantes criterios medidos:
O₃ Ozono
SO₂ Dióxido de azufre
CO Monóxido de carbono
NO₂ Dióxido de nitrógeno
PM_{2.5} Partículas menores a 2.5 micras

Estructura de operación del SMCAQ

El Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire del Estado de Querétaro es administrado por la Secretaría de Desarrollo Sustentable bajo la estructura mostrada en la figura 1.

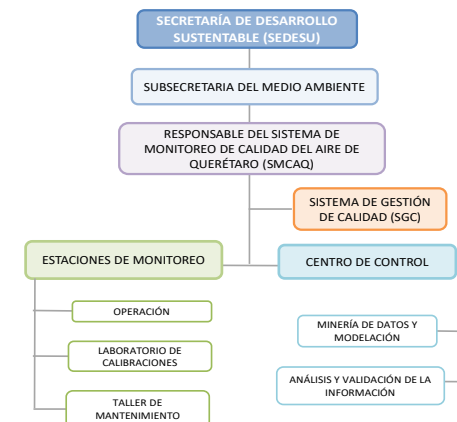


Figura 1. Estructura del Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire del Estado de Querétaro.

El área de operación es la encargada de garantizar el correcto funcionamiento de las estaciones de monitoreo a través del mantenimiento y calibraciones de equipos, lo que realiza conforme a lo establecido en la NOM-156-SEMARNAT-2012 garantizando la confiabilidad de la información generada.

El área de Centro de Control es la encargada de respaldar, analizar y publicar la información generada en las estaciones de monitoreo, así como generar los indicadores que evalúan la calidad del aire, publicar en tiempo real el Índice de Aire y Salud, manteniendo informada a la población a través de la página web y los medios de comunicación establecidos en redes sociales y la App móvil Ambiente QRO; esto también conforme a lo establecido en la NOM-172-SEMARNAT-2019.

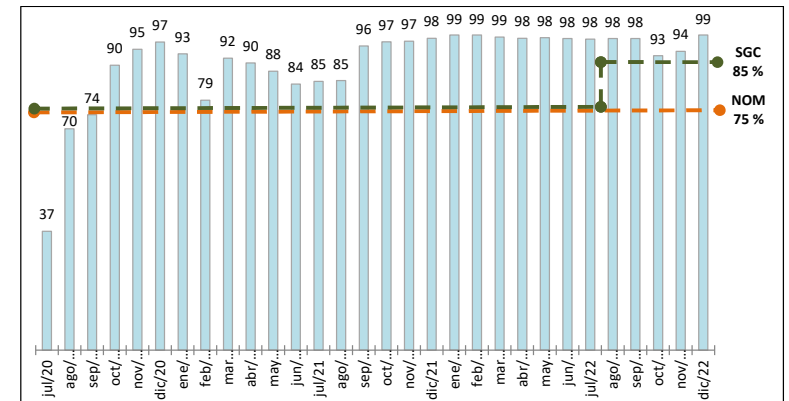
III.2 Sistema de Gestión de Calidad (SGC).

En septiembre de 2020 se comenzó con la implementación del SGC en el SMCAQ, con la finalidad establecer condiciones estandarizadas y controladas de los procesos y procedimientos con los que opera el SMCAQ tanto la operación de estaciones como la validación y publicación de la información.

El Sistema de Gestión de Calidad (SGC) es un conjunto de elementos interrelacionados y que interactúan para establecer políticas, objetivos y procesos para lograr las metas relacionadas de calidad y mejora continua. El SMCAQ cuenta con un SGC basado en la norma ISO 9001:2015. Algunos de los beneficios obtenidos con la implementación de este sistema son:

- Generar información oportuna de la Calidad del Aire en el Estado.
- Mantener en operación óptima a los equipos y en su caso, generar de manera oportuna acciones de mejora en caso de ser requeridas.
- Uso eficiente de los recursos disponibles para su funcionamiento bajo condiciones controladas.
- Mejorar continuamente el diseño y desarrollo de los procesos que involucran el funcionamiento eficiente y eficaz del SMCAQ.
- Generar estadísticas de cumplimiento en cuanto a calidad y cantidad de información transmitida conforme a los objetivos establecidos.
- Sentar las bases para la estandarización de la validación de la información generada por el SMCAQ.

Actualmente los objetivos en la calidad de los datos están arriba de lo especificado en las normas oficiales mexicanas NOM-156-SEMARNAT-2012 y NOM-172-SEMARNAT-2019, a partir de julio de 2022 se estableció tener el 85 % de datos validados y este mismo porcentaje de publicados en los medios electrónicos. En la gráfica 1 se muestra como se ha ido fortaleciendo la completación de datos (porcentaje de datos válidos).



Gráfica 1. Completación de datos por estación SMCA 2022.

Lo anterior se realiza a través de un proceso de mejora continua que conlleva la aplicación semestral de auditorías internas de calidad, con el objeto de identificar áreas de oportunidad en el mejoramiento de procesos y procedimientos establecidos, además de la capacitación constante del personal, siempre en un estándar alto en calidad y cantidad de información.

III.3 Publicación de información

Como se mencionó con anterioridad a partir del último trimestre del 2020, se comenzó con la publicación en tiempo real de la información generada en el SMCAQ a través de la página web <http://aire.cemcaq.mx/>, app móvil "Ambiente QRO", Twitter @CeMCAQ y en el Sistema Nacional de Información de Calidad del Aire (SINAICA) <https://sinaica.inecc.gob.mx/>.

La publicación de la información se realiza cumpliendo con la Norma Oficial Mexicana NOM-172-SEMARNAT-2019 que establece los lineamientos para la obtención y comunicación del índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud (ICARS)¹¹, esto con el fin de informar de manera clara, oportuna y continua el estado de la calidad del aire, los probables daños a la salud que ocasiona y las medidas que se pueden tomar para reducir la exposición.

El ICARS, conocido simplemente como “Índice de Aire y Salud”, es un indicador basado en parámetros de concentración de cinco contaminantes criterio: dióxido de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO), ozono (O₃), dióxido de azufre (SO₂) y material particulado (PM); los cuáles deben de reportarse cada hora, así como el código de colores que debe de utilizarse para reducir el riesgo de salud a la población. Se reporta el valor de la calidad de aire en base a cuál de los contaminantes se encuentra en una peor situación de calidad del aire. Los rangos de cada contaminante y su calidad de aire se enlistan en la Tabla 1.

Tabla 1. Rangos del Índice de Aire y Salud para cada contaminante criterio.

Calidad de aire	NO ₂	CO	O ₃		SO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}
	PH (ppm)	PM8 (ppm)	PH (ppm)	PM8 (ppm)	PM24 (ppm)	PP12 (µg/m ³)	PP12 (µg/m ³)
Buena	< 0.107	< 8.75	< 0.051	< 0.051	< 0.008	< 50	< 25
Regular	>0.107 a 0.210	>8.75 a 11.00	>0.051 a 0.095	>0.051 a 0.070	>0.008 a 0.110	>50 a 75	>25 a 45
Mala	>0.210 a 0.230	>11.00 a 13.30	>0.095 a 0.135	>0.070 a 0.092	>0.110 a 0.165	>75 a 155	>45 a 79
Muy mala	>0.230 a 0.250	>13.30 a 15.50	>0.135 a 0.175	>0.092 a 0.114	>0.165 a 0.220	>155 a 235	>79 a 147
Extremadamente mala	>0.250	>15.50	>0.175	>0.114	>0.220	>235	>147

PH= promedio horario, PM8= promedio móvil de 8 horas, PM24= promedio móvil de 24 horas, PP12= promedio móvil ponderado de 12 horas, ppm= partes por millón, PM₁₀=Material particulado menor a 10 micras, PM_{2.5}=Material particulado menor a 2.5 micras

Fuente: NOM-172-SEMARNAT-2019.

¹¹ SEMARNAT, 2019

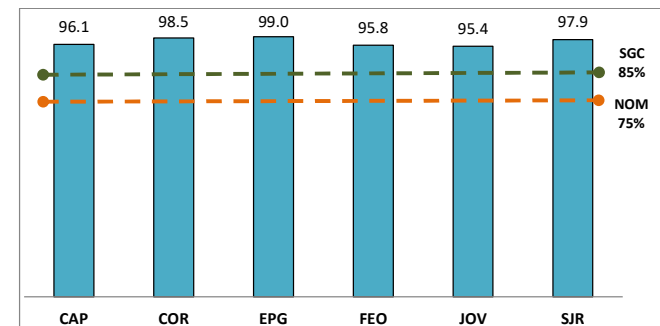
IV. Compleción de datos obtenidos en 2022

La compleción de datos se refiere a la cantidad de datos válidos que se generan para cada contaminante, y como lo establecen las normas oficiales mexicanas es que, se debe tener al menos una suficiencia del 75 % de datos validados. Del análisis realizado conforme a los datos generados en 2022 en cada estación, todas las estaciones cumplieron y superaron este porcentaje de datos válidos. Tabla 2.

Tabla 2. Cumplimiento de NOM por contaminante en cada estación del SMCAQ. Año 2022.

Estación	CAP	COR	EPG	FEO	JOV	SJU
NO ₂	98.5	99.2	99.4	98.8	99.6	96.2
CO	97.6	98.2	98.5	99.4	99.5	98.5
O ₃	98.0	99.0	99.0	99.0	99.0	98.0
SO ₂	97.8	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5
PM _{2.5}		96.8	98.8	82.5	79.5	97.3
PM ₁₀	88.5					

■ No se mide



Gráfica 2. Porcentaje de datos válidos por estación, SMCAQ 2022

V. Análisis de contaminantes

En este apartado se realiza el análisis para cada contaminante, respecto a:

- Comportamiento temporal
- Cumplimiento de Normas de salud
- Índice de Calidad de Aire y Riesgos a la Salud (ICARS)

A continuación, se describe el análisis en cada punto para cada uno de los contaminantes monitoreados.

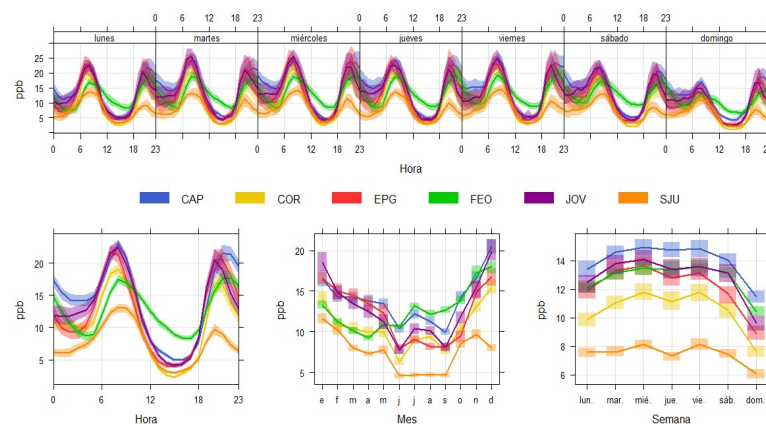
V.1. Comportamiento

El análisis de comportamiento se realiza para cada uno de los contaminantes en todas las estaciones de monitoreo e incluye el análisis por hora, día, semana, mes, observando la tendencia que se presenta de cada contaminante. En los siguientes apartados se muestra el análisis para cada uno de los contaminantes monitoreados.

V.1.1 Dióxido de nitrógeno (NO₂).

El comportamiento temporal de este contaminante se muestra en la Gráfica 3. Como primer punto, se puede ver las concentraciones promedio por día de la semana, donde las mayores concentraciones se alcanzaron los viernes en las estaciones CAP, EPG, FEO y JOV; el miércoles en la estación COR y el viernes en la estación SJU. Se puede observar que los días domingo existe una baja concentración en todas las estaciones en comparación con los demás días, atribuyéndose a la baja afluencia vehicular y a que la mayoría de las industrias no operan en su totalidad. En cuanto al perfil horario, hay dos picos de mayor concentración en todas las estaciones. En la ZMQ para cada una de las estaciones, estos picos son de igual magnitud en las primeras horas del día (entre 8 y 10 de la mañana) y en la tarde (un poco desfasado según la estación, pero observándose entre 19 y 22 horas), mientras que en SJU, hay un pico de mayor magnitud matutino (entre las 8 y 10 horas) y uno mucho menor pero fácilmente observable en la tarde-noche (aproximadamente entre 19 y 20 horas).

Finalmente, en cuanto al promedio mensual se observa que, en todas las estaciones, la mayor concentración ocurre en temporada de frío, es decir, entre noviembre y febrero; mientras que, por el contrario, la época de lluvia (entre los meses de junio y septiembre) marca una baja concentración de NO₂. Asimismo, se aprecia también que el comportamiento del SJR es similar al de la ZMQ sin embargo los niveles son menores a los la ZMQ, esto es atribuible a que en SJR el flujo vehicular es menor.

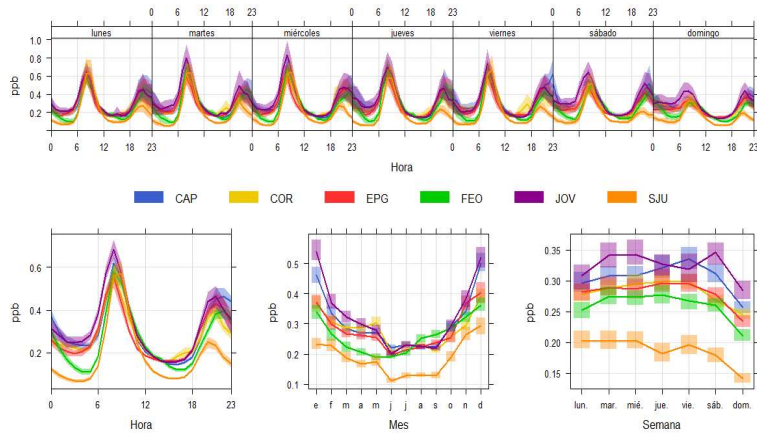


Gráfica 3. Comportamiento temporal de NO₂. Año 2022.

V.1.2 Monóxido de carbono (CO).

El comportamiento temporal del CO se muestra en la Gráfica 4. El perfil horario muestra dos picos de concentración uno en la mañana (entre las 6 y 12 horas) y otro por la noche (entre 19 y 22 horas), los cuales pueden ser coincidentes con los horarios de mayor afluencia vehicular. Los mayores picos de concentración de CO variaron de acuerdo con las estaciones y días de la semana, para las estaciones JOV y FEO, los días de la semana con mayor pico de CO fueron martes, miércoles y jueves; en las estaciones (EPG, COR, CAP) fueron los jueves y viernes. Para la estación de monitoreo SJR se observa el mismo pico de concentración CO los lunes, martes y miércoles. A partir del fin de semana las concentraciones de CO comienzan a bajar.

En el promedio mensual, se observa una mayor concentración en los meses de enero y diciembre que son meses con temperaturas más bajas lo cual lleva a la realización de actividades antropogénicas en las que se lleva a cabo el proceso de combustión. Los meses de más baja concentración son los lluviosos, que abarcaron de junio a septiembre. De manera general, se aprecia que el comportamiento del SJR es similar al de la ZMQ sin embargo los niveles son menores, esto puede ser atribuible a que en SJR el flujo vehicular es menor.

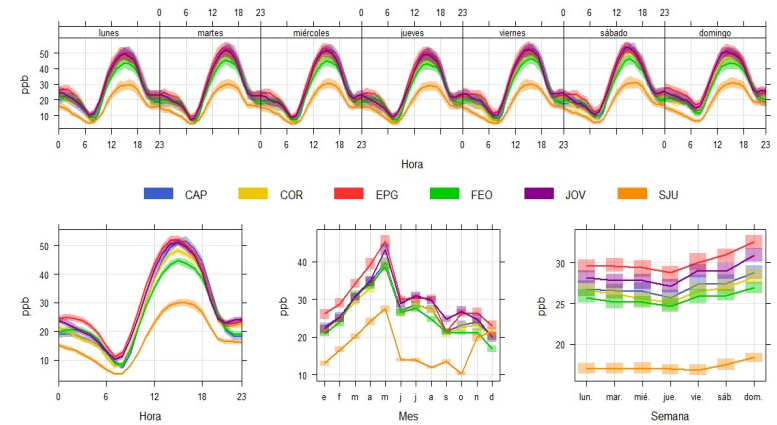


Gráfica 4. Comportamiento temporal de CO. Año 2022.

V.1.3 Ozono (O₃).

De acuerdo con la Gráfica 5 las concentraciones más elevadas de ozono ocurren durante el día, donde se presenta un único pico de concentración entre las 13 y 16 horas con su cénit a las 15 horas, coincidiendo con la mayor cantidad de radiación solar, por otro lado, la concentración de O₃ es baja justo antes de la salida del sol, entre las 7 y 8 de la mañana. Para el 2022 se aprecia que la mayor concentración ocurrió los fines de semana.

Finalmente, el promedio mensual, muestra que en los primeros meses del año existe un aumento sostenido de la concentración de ozono, alcanzando su concentración más alta en el mes de mayo. Después comienza un descenso en la concentración con la entrada de la época de lluvias y mejores condiciones para la dispersión de contaminantes, hasta aumentar ligeramente a partir de octubre, pero nuevamente se observa un descenso en diciembre con la entrada del invierno ya que hay menos radiación solar. Es importante también resaltar que el comportamiento de ZMQ y de SJR son similares, sin embargo, los niveles en SJR son más bajos, atribuible a que en SJR se tiene un menor flujo vehicular.



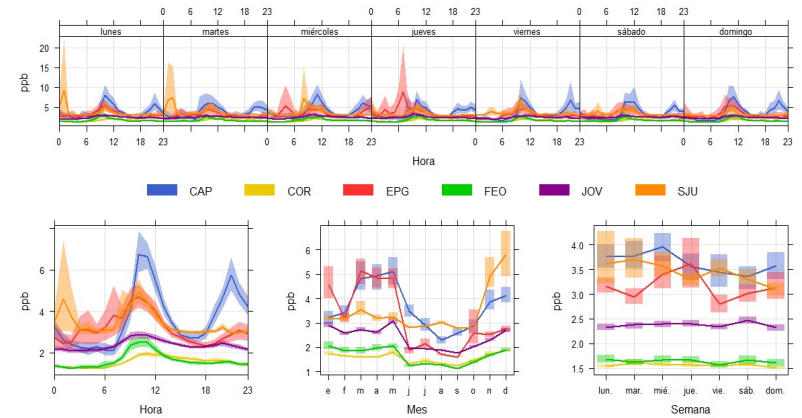
Gráfica 5. Comportamiento temporal de O₃. Año 2022.

V.1.4 Dióxido de azufre (SO₂).

Para el comportamiento temporal del SO₂, un primer análisis es a través del perfil horario, donde hay mucha variación entre estaciones. Esto debido a que es un contaminante que proviene principalmente de la quema de combustibles por la actividad industrial. Por ello, puede observarse una diferencia significativa entre las concentraciones de las estaciones CAP, EPG y SJU con el resto dado que tienen influencia de la zona industrial por lo que sus concentraciones se incrementan dependiendo de la dirección del viento. A diferencia de las estaciones COR, FEO y JOV que se ubican en zonas sin influencia emisiones industriales por lo que sus concentraciones son más bajas. Esto se observa con facilidad en el perfil por semana, donde se aprecia que CAP, EPG y SJU tienen concentraciones comparables, a diferencia de las estaciones COR, FEO y JOV que se mantienen en valores cercanos a la línea base.

Continuando con un análisis del perfil horario, se aprecia mucha variación entre estaciones, sin embargo, en todas hay una variación mayor entre las 11:00 y 12:00 horas, la estación CAP como la de mayor magnitud promedio y COR como la de menor magnitud. Otro comportamiento similar ocurre entre las 20:00 y 22:00 horas. Por otro lado, la estación SJU tiene sus mayores concentraciones de este contaminante en la madrugada, observando una dispersión significativa entre las 00:00 y las 2:00 horas. De igual forma en el análisis del perfil por día de la semana también se observa un comportamiento heterogéneo en las estaciones: en CAP, EPG y SJU el pico con mayor concentración ocurrió los días miércoles, jueves y martes, respectivamente; en JOV, FEO, y COR se mantiene la misma concentración de SO₂ a lo largo de todos los días de la semana.

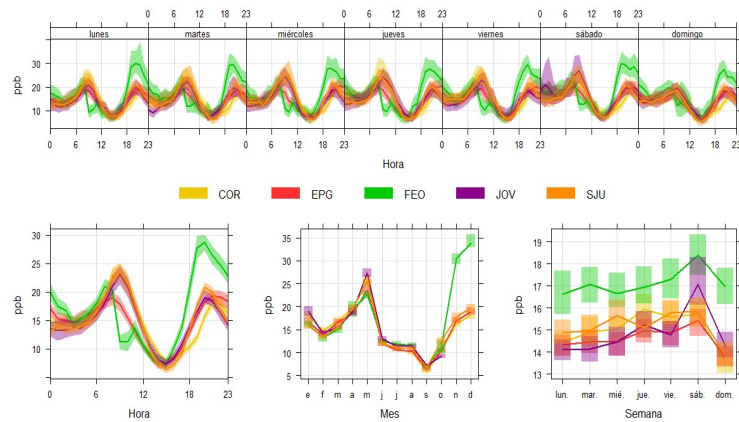
Por último, en cuanto a la concentración promedio mensual, este contaminante es influido por factores como viento, humedad, lluvia y época del año. Sin embargo, todos muestran en épocas distintas una mayor concentración. En la estación SJU, en época de invierno tiene mayor acumulación de SO₂ en comparación con las estaciones pertenecientes a ZMQ, que, si bien se observan altas concentraciones en época de invierno, las mayores acumulaciones ocurren en la época de primavera que abarcan los meses de marzo a mayo, donde la estabilidad atmosférica y la falta de factores meteorológicos que lo dispersen, promueven su acumulación, en lo que influye también que es un contaminante muy estable. El detalle completo puede verse en la Gráfica 6.



Gráfica 6. Comportamiento temporal del SO₂. Año 2022.

V.1.5 Partículas menores a 2.5 micras (PM_{2.5}).

Las partículas PM_{2.5} se miden únicamente en las estaciones COR, EPG, FEO, JOV y SJU. El comportamiento temporal en cuanto al análisis de las PM_{2.5}, comenzando por el día de la semana con mayor concentración promedio, fueron los sábados. El comportamiento horario, muestra dos picos en todas las estaciones, uno ocurrido por la mañana (entre las 10 y 12 horas) y otro en la tarde-noche (entre 18 y 22 horas). Por otro lado, el promedio mensual, muestra que el mes de mayo, noviembre y diciembre presentaron las mayores concentraciones, siendo mayor para la estación FEO en el mes de diciembre. Gráfica 7.

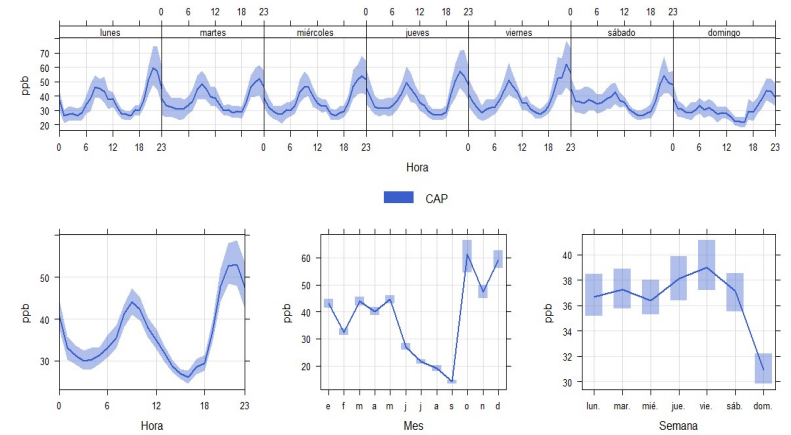


Gráfica 7. Comportamiento temporal de PM_{2.5}. Año 2022.

V.1.6 Partículas menores a 10 micras (PM₁₀).

Las partículas PM₁₀ se miden únicamente en la estación CAP, por lo que el análisis es solo para esa estación. Respecto al comportamiento por día de la semana, como se observa en la Gráfica 8, las concentraciones mayores de PM₁₀ fueron los jueves y viernes. En cuanto al perfil horario, éste muestra dos picos, uno matutino y uno vespertino. El matutino ocurre en un horario entre 8 y 10 horas, mientras que el vespertino se presenta entre 20 y 23 horas, siendo este último mayor.

En cuanto al comportamiento mensual octubre, noviembre y diciembre son los que alcanzaron concentraciones más altas, registrando promedios mensuales de hasta 60 microgramos por metro cúbico. Gráfica 8.



Gráfica 8. Comportamiento temporal de PM₁₀. Año 2022.

V.2 Cumplimiento de Normas de salud

Las normas de salud ambiental establecen los límites máximos permisibles (LMP) de concentración de los contaminantes para prevención de los efectos en salud de la población. En la Tabla 3 se muestra la Norma Oficial Mexicana correspondiente a cada contaminante, mostrando los límites máximos permisibles (LMP), tiempos de exposición, así como los criterios de completión de datos que deben de cumplirse para la evaluación de los LMP establecidos en cada una de ellas.

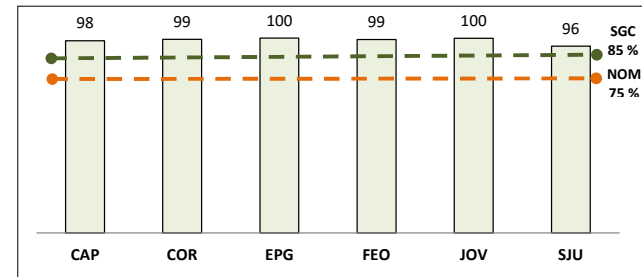
Tabla 3. Límites Máximos Permisibles de Normas de Salud Ambiental vigentes en el año 2022.

Contaminante	NOM vigente en 2022	Límites y tiempos de exposición	Fecha de última publicación
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	NOM-023-SSA1-2021	0.106 ppm Promedio horario 0.021 ppm Promedio anual	27 de octubre de 2021
Monóxido de carbono (CO)	NOM-021-SSA1-2021	9.0 ppm Promedio móvil de 8h 26.0 ppm Promedio horario	29 de octubre de 2021
Ozono (O ₃)	NOM-020-SSA1-2021	0.090 ppm Promedio horario 0.065 promedio móvil de 8h	28 de octubre de 2021
Dióxido de azufre (SO ₂)	NOM-022-SSA1-2019	0.04 ppm Promedio de 24 h máximo de 3 años 0.075 ppm Promedio del percentil 99 de los máximos horarios diarios de 3 años	20 de agosto de 2019
Partículas menores a 2.5 micrómetros (PM _{2.5})	NOM-025-SSA1-2021	41 µg/m ³ Promedio de 24h 10 µg/m ³ Promedio anual	27 de octubre de 2021
Partículas menores a 10 micrómetros (PM ₁₀)		70 µg/m ³ Promedio de 24 h 36 µg/m ³ Promedio anual	

A continuación, se realiza el análisis por contaminante del cumplimiento de su respectiva norma oficial mexicana que lo rige:

V.2.1 Dióxido de nitrógeno (NO₂)

La NOM-023-SSA1-2021 establece los LMP para protección de la salud de la población para el NO₂, el primer requisito establecido es que se cuente con al menos el 75 % de datos válidos, superando este porcentaje en todas las estaciones como se observa en la Gráfica 9, logrando más del 96.2 % de datos válidos.

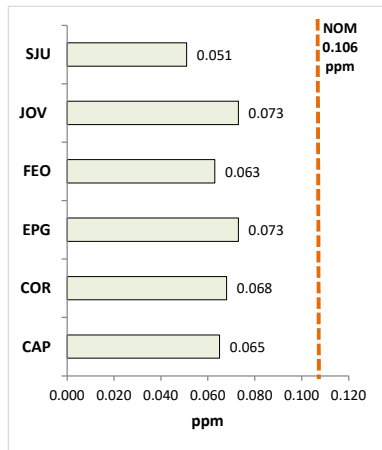


Gráfica 9. Porcentaje de datos válidos de dióxido de nitrógeno.

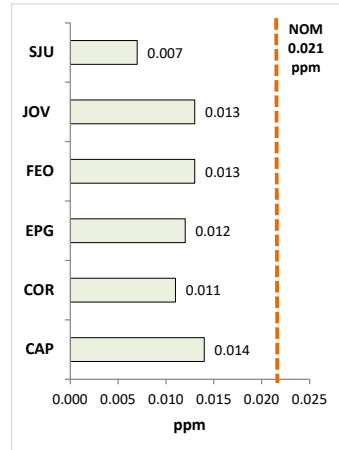
Después de comprobar que se cumple con el porcentaje de datos válidos, se realiza el análisis del cumplimiento a los LMP establecidos que son:

1. No superar los 0.106 ppm en promedio de 1 hora.
2. No superar los 0.021 ppm en el promedio anual.

En las Gráficas 10 y 11 se observa los valores obtenidos en cada estación y su comparación respecto a los LMP establecidos en la NOM, observando que en ambos casos se obtuvieron valores por debajo del LMP.



Gráfica 10. Máximo valor de promedio horario de dióxido de nitrógeno por estación.



Gráfica 11. Promedio anual de dióxido de nitrógeno por estación.

Dado lo anterior, en la Tabla 4 se muestra el cumplimiento de la norma en la Zona Metropolitana de Querétaro y en San Juan del Río.

Tabla 4. Cumplimiento de NOM-023-SSA1-2021.

Zona	Promedio de 1 hora		Promedio anual	
	Máximo valor	¿Cumple?	Máximo valor	¿Cumple?
ZMQ	0.073 ppm	✓	0.014 ppm	✓
SJR	0.051 ppm	✓	0.007 ppm	✓

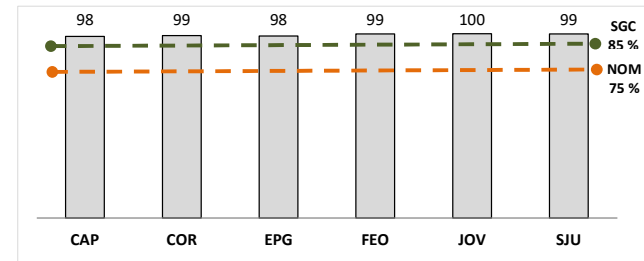
✓ Cumple el valor

✗ No cumple el valor

En conclusión, la totalidad de las estaciones cumplieron con la NOM-023-SSA1-2021 para dióxido de nitrógeno durante todo el año 2022, por lo que la ZMQ y SJR presentaron concentraciones por debajo del valor indicado en la norma para la protección de la salud de la población más vulnerable.

V.2.2 Monóxido de carbono (CO).

La NOM-021-SSA1-2021 establece los LMP de CO para protección de la salud de la población, el primer requisito establecido en esta norma es que se cuente con al menos el 75 % de datos válidos, observando en la Gráfica 12, que se superó, teniendo más del 97.6 % de datos válidos en todas las estaciones.

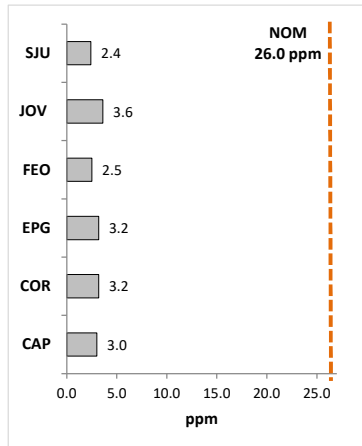


Gráfica 12. Porcentaje de datos válidos de monóxido de carbono.

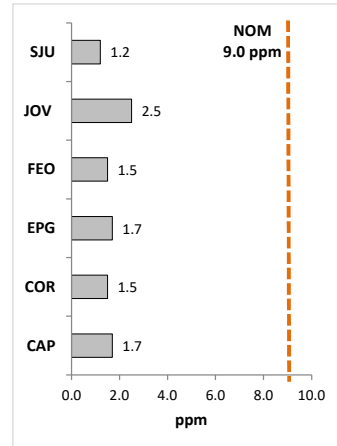
Una vez confirmando que se cumple y supera el porcentaje de datos válidos, se analiza el cumplimiento a los LMP establecidos que son:

1. No rebasar 26.0 ppm en promedio de 1 hora.
2. No superar 9.0 ppm en promedio móvil de 8 horas

En las Gráficas 13 y 14 se muestran los máximos valores obtenidos por estación en el promedio horario y promedio móvil de 8 horas, observando que en todas las estaciones se cumple con los valores establecidos en NOM, estando muy por debajo de los LMP establecidos.



Gráfica 13. Máximo valor de promedio horario de monóxido de carbono por estación.



Gráfica 14. Máximo valor de promedio móvil de 8 horas de monóxido de carbono por estación.

En la Tabla 5. Se muestra el cumplimiento de la NOM por zona para el monóxido de carbono, cumpliendo con los LMP establecidos.

Tabla 5. Cumplimiento de NOM-021-SSA1-2021.

Zona	Promedio de 1 hora		Promedio móvil de 8 horas	
	Máximo valor	¿Cumple?	Máximo valor	¿Cumple?
ZMQ	3.6 ppm	✓	2.5 ppm	✓
SJR	2.4 ppm	✓	1.2 ppm	✓

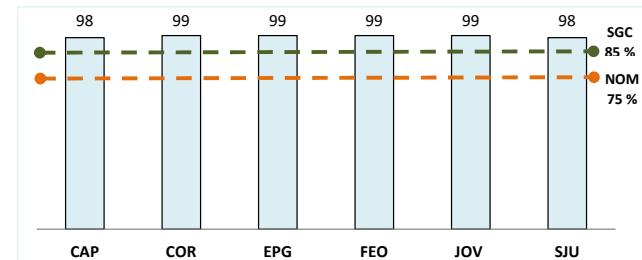
✓ Cumple el valor

✗ No cumple el valor

Concluyendo que se cumple con la NOM-021-SSA1-2021, tanto en suficiencia de información con datos válidos y con el cumplimiento los límites máximos permisibles (LMP) establecidos en la norma.

V.2.3 Ozono (O₃).

La NOM-020-SSA1-2021 establece los LMP de exposición de O₃ para protección de la salud de la población. El primer requisito establecido en esta norma es que se cuente con al menos el 75 % de datos válidos, observando en la Gráfica 15, que se superó, teniendo más del 98 % de datos válido en todas las estaciones.

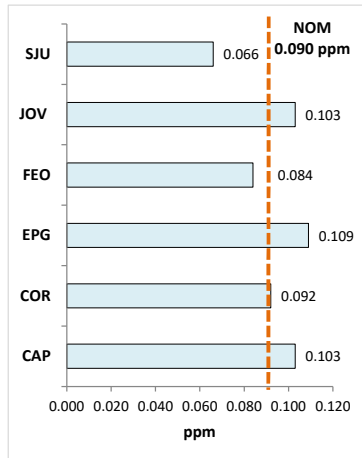


Gráfica 15. Porcentaje de días con promedios válidos de ozono.

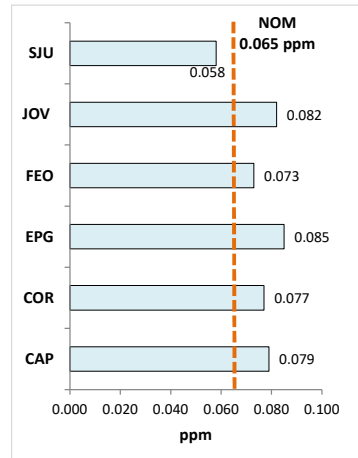
Después de verificar que se cumple y supera el porcentaje de datos válidos, se analiza el cumplimiento a los LMP establecidos para O₃ los cuales son:

1. No basar 0.090 ppm en promedio de 1 hora.
2. No superar 0.065 ppm en promedio móvil de 8 horas

Para evaluar los valores máximos de cada estación, se comparan los máximos de los días válidos contra el límite máximo permisible establecido en la norma que rige al ozono. Dichas comparaciones se muestran las Gráficas 16 y 17.



Gráfica 16. Máximo valor de promedio horario de ozono por estación.



Gráfica 17. Máximo valor de promedio móvil de 8 horas de ozono por estación.

Observando que se superaron los LMP establecidos para promedio horario en cuatro estaciones: JOV, EPG, COR Y CAP, y para el promedio móvil de 8 hr en cinco estaciones JOV, FEO, EPG, COR Y CAP, siendo solamente la estación de SJR la que cumple con los LMP en ambos casos, promedio horario y promedio móvil de 8 hr.

En la Tabla 6 se indica el cumplimiento la NOM-020-SSA1-2021 para la Zona Metropolitana de Querétaro y en San Juan del Río.

Tabla 6. Cumplimiento de NOM-020-SSA1-2021.

Zona	Promedio de 1 hora		Promedio móvil de 8 horas	
	Máximo valor	¿Cumple?	Máximo valor	¿Cumple?
ZMQ	0.109 ppm	×	0.085 ppm	×
SJR	0.066 ppm	✓	0.058 ppm	✓

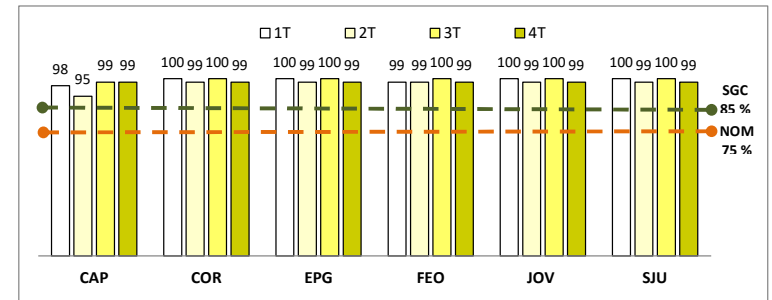
✓ Cumple el valor

× No cumple el valor

Como se observa en la tabla anterior, en la ZMQ no se cumple con los LMP establecidos en la NOM-020-SSA1-2021 de ozono.

V.2.4 Dióxido de azufre (SO₂).

Para el análisis de la NOM-022-SS1-2019 que establece los límites máximos permisibles de SO₂ para protección a la salud de la población, se resalta que está diseñada para la evaluación de un periodo de 3 años, sin embargo, en este informe se realiza la evaluación para un año. En este caso también se establece como primer punto el 75 % de datos válidos, sin embargo, para este caso se realiza por trimestre, en la Gráfica 18, se observa que todas las estaciones superan el porcentaje de datos válidos establecido en la NOM, superando el 95 % de datos válidos.

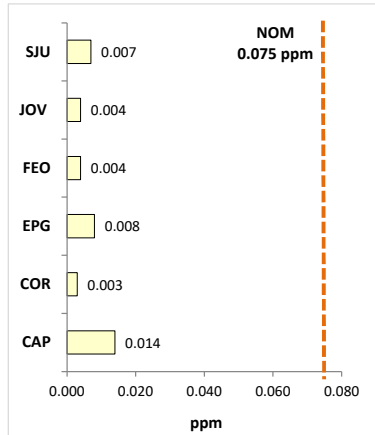


Gráfica 18. Porcentaje de días con promedios válidos de dióxido de azufre por trimestre.

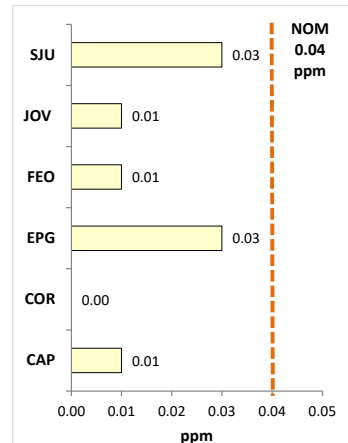
En cuanto a los LMP establecidos la NOM-022-SS1-2019 establece lo siguiente:

1. No rebasar 0.075 ppm en promedio de 1 hora, obtenido como el promedio aritmético de los percentiles 99 obtenido de los máximos diarios.
2. No superar 0.04 ppm en 24 horas obtenido del máximo del periodo de evaluación.

En las Gráficas 19 y 20, se presenta el análisis respecto a los LMP de 1 hora y 24 horas, observando que se cumple para ambos casos, dado que está debajo de los valores establecidos.



Gráfica 19. Promedio aritmético de los percentiles 99 de los máximos diarios de 1 hora de dióxido de azufre por estación.



Gráfica 20. Máximo valor de 24 horas de dióxido de azufre por estación.

En la Tabla 7 se muestra la evaluación de la norma de dióxido de azufre por zona, observando que para ambas zonas (ZMQ y SJR) se cumplen con los valores establecidos en la NOM.

Tabla 7. Cumplimiento de NOM-022-SSA1-2019.

Zona	Promedio de 1 hora		Promedio de 24 horas	
	Máximo valor	¿Cumple?	Máximo valor	¿Cumple?
ZMQ	0.014 ppm	✓	0.03 ppm	✓
SJR	0.007 ppm	✓	0.03 ppm	✓

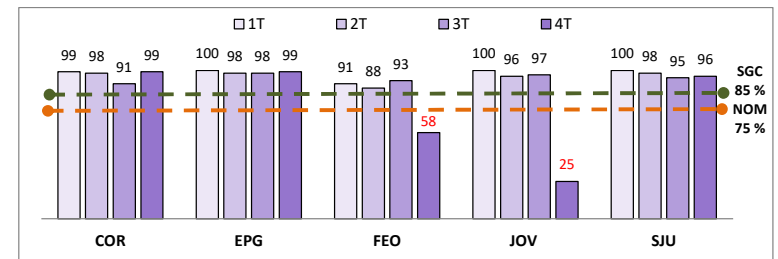
✓ Cumple el valor

✗ No cumple el valor

V.2.5 Material particulado menor a 2.5 micras (PM_{2.5}).

La NOM-025-SSA1-2021 establece los límites máximos permisibles, tanto para PM_{2.5} y PM₁₀. La primera consideración que establece esta norma para su cumplimiento es contar con al menos 3 trimestres con un 75 % de datos válidos. En la Gráfica 21 se observa que todas las estaciones cumplen con tres trimestres arriba del porcentaje establecido, no obstante que las estaciones FEO y JOV durante el último trimestre tuvieron un porcentaje de datos válidos abajo del 75 %.

En el caso de FEO el equipo de partículas estuvo en mantenimiento durante todo el mes de octubre por lo que la cantidad de datos válidos fue del 58 %, por su parte para la estación JOV el equipo de partículas se reubicó por lo que a partir del mes de octubre se dejó de operar, con lo que el porcentaje de datos válidos fue el 25 %.

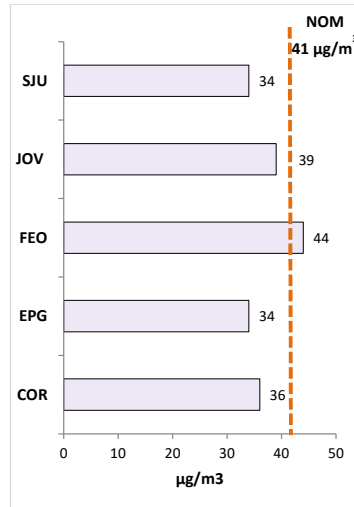


Gráfica 21. Porcentaje de días con promedios válidos de partículas PM_{2.5} por trimestre.

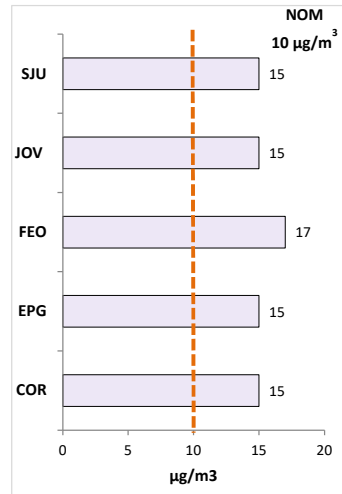
En este sentido, dado que se cumple con el porcentaje de datos válidos en tres trimestres, se realiza la evaluación respecto a los LMP que establece:

1. El percentil 99 sea igual o menor a 41 µg/m³ en valores de 24 horas.
2. No rebasar los 10 µg/m³ en el promedio anual.

En las gráficas comparativas 22 y 23 se presenta los datos obtenidos por estación para cada indicador, observando que la estación FEO no cumple con el LMP para 24 horas y ninguna de las estaciones cumple con el LMP del promedio anual.



Gráfica 22. Máximo promedio de 24 horas del percentil 99 por estación para PM_{2.5}.



Gráfica 23. Promedio anual de PM_{2.5} por estación.

La Tabla 8, muestra la evaluación del cumplimiento a lo establecido en la NOM-025-SSA1-2021 para PM_{2.5} por zona, observando que en la ZMQ no se cumple con ninguno de los indicadores superando los LMP de 24 horas y el promedio anual. Para SJR no se cumple con el LMP establecido para el promedio anual.

Tabla 8. Cumplimiento de NOM-025-SSA1-2021 para PM_{2.5}

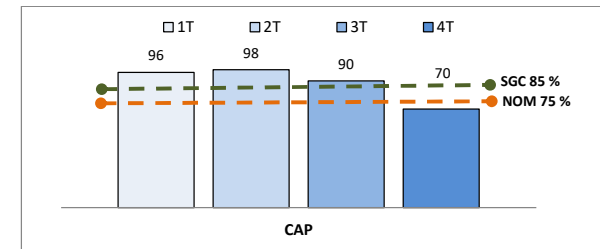
Zona	Promedio de 24 horas		Promedio anual	
	Máximo valor	¿Cumple?	Máximo valor	¿Cumple?
ZMQ	44 µg/m³	×	17 µg/m³	×
SJR	34 µg/m³	✓	15 µg/m³	×

✓ Cumple el valor

× No cumple el valor

V.2.6 Material particulado menor a 10 micras (PM₁₀).

La NOM-025-SSA1-2021 establece los límites máximos permisibles de partículas PM₁₀, este contaminante se mide únicamente en la estación Carrillo Puerto (CAP). En la Gráfica 24 se muestra la compleción de datos que tuvo por trimestre. Como se puede observar en el último trimestre la compleción disminuyó, esto debido a que el equipo estuvo en mantenimiento por casi todo el mes de octubre, sin embargo, la norma específica que la información puede ser analizada si en tres de los cuatro trimestres se tiene el 75 % de información validada y en este caso en los tres primeros trimestres de los datos obtenidos más del 90 % fueron válidos.

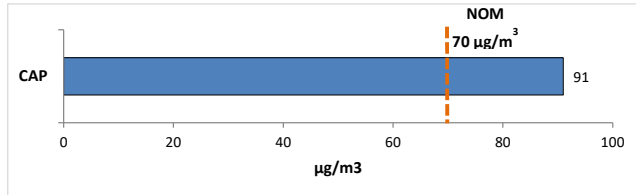


Gráfica 24. Porcentaje de días con promedios válidos de partículas PM₁₀ por trimestre.

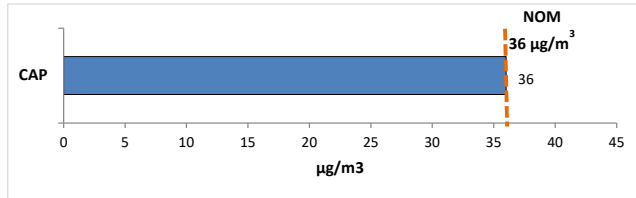
En cuanto a los LMP establecidos por la norma se especifica:

1. El valor límite de 24 horas que es igual a que el percentil 99, debe ser menor o igual a 70 µg/m³.
2. El valor del promedio anual deber menor o igual a 36 µg/m³.

En las Gráficas 25 y 26 se muestra el cumplimiento respecto a estos indicadores, observando que el promedio de 24 horas supero el LMP establecido por la NOM-025-SSA1-2021, y el promedio anual se quedó en el límite de la norma siendo un valor de 36 µg/m³.



Gráfica 25. Máximo promedio de 24 horas del percentil 99 en la estación CAP para PM₁₀.



Gráfica 26. Promedio anual de PM₁₀ en la estación CAP.

En la Tabla 9, se muestra la evaluación general de la ZMQ del cumplimiento a lo establecido en la norma de partículas para PM₁₀. Observando que no cumple con el indicador para promedio de 24 horas, pero si con el promedio anual.

Tabla 9. Cumplimiento de NOM-025-SSA1-2021 para PM₁₀ en la ZMQ.

	Promedio de 24 horas		Promedio anual	
	Máximo valor	¿Cumple?	Máximo valor	¿Cumple?
ZMQ	91 µg/m ³	×	36 µg/m ³	✓

✓ Cumple el valor

× No cumple el valor

V.3 Índice de Calidad de Aire y Riesgos a la Salud (ICARS)

El ICARS permite identificar de manera visual la calidad del aire a partir de una banda de colores establecida en la NOM-172-SEMARNAT-2019. Este apartado se muestra a través de un calendario anual, en el cual se menciona cómo estuvo la calidad del aire en cada día del año conforme a los rangos establecidos en la norma referida, para la ZMQ y SJR; además se presentan gráficos que permiten conocer el comportamiento por contaminante y por estación con respecto a los días y horas que se tuvo calidad buena, aceptable, mala, muy mala y extremadamente mala.

A continuación, se realiza el análisis mencionado para cada contaminante.

V.3.1 Dióxido de nitrógeno (NO₂).

Prosiguiendo al Índice de Aire y Salud del contaminante, como fue mencionado en un inicio, este contaminante no representó un riesgo para la salud de la población, estando en situación buena durante la totalidad de las horas medidas para el 2022, tanto en la ZMQ como en SJR, comenzando por los siguientes calendarios de calidad de aire, en las Imágenes 6 y 7.



Imagen 6. Calendario ICARS de NO₂ en la ZMQ. Año 2022.

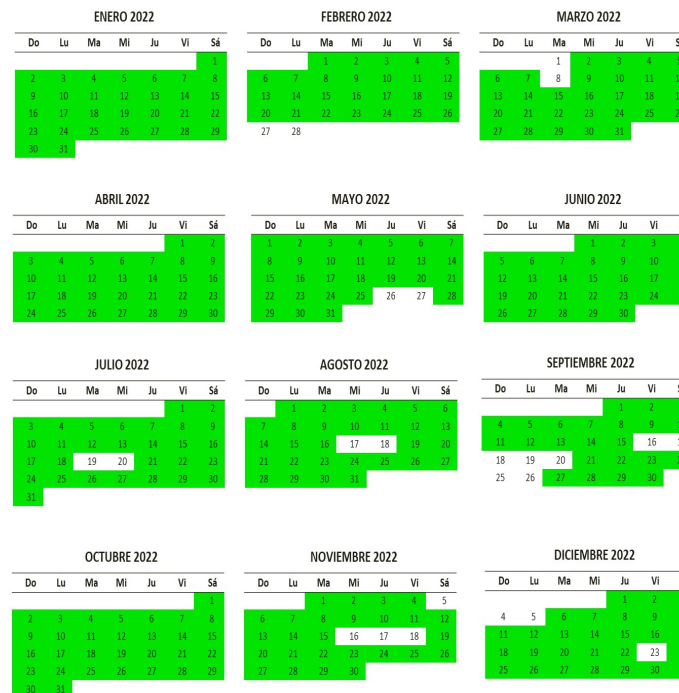
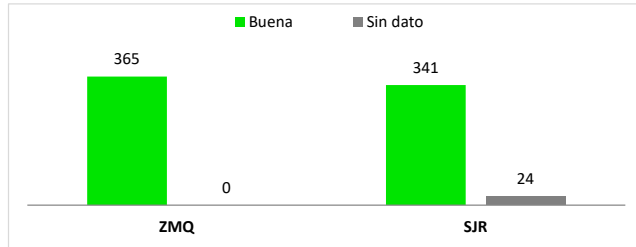


Imagen 7. Calendario ICARS de NO₂ en SJR. Año 2022.

Con esto, se tiene el conteo de días por calidad de aire, tanto en la ZMQ como en SJR como se muestra en la Gráfica 27. Los días sin dato se debe en su mayoría a cortes de energía eléctrica principalmente, los cuales quedan fuera del alcance de la operación del SMCAQ, dado que se depende de la red eléctrica de la zona donde se ubica cada estación.



Gráfica 27. Conteo de días por calidad de aire y por ciudad del estado de Querétaro para NO₂. Año 2022.

V.3.2 Monóxido de carbono (CO).

Continuando con el análisis del Índice de Calidad de Aire y Riesgos a la Salud, como primer punto se observan los calendarios (en las Imágenes 8 y 9), donde en la totalidad de días del año, se tuvo una buena calidad de aire por monóxido de carbono, indicando que en ninguna hora se alcanzó la calidad inaceptable, para ambas zonas (ZMQ y SJR).



Imagen 8. Calendario ICARS de CO en la ZMQ. Año 2022.

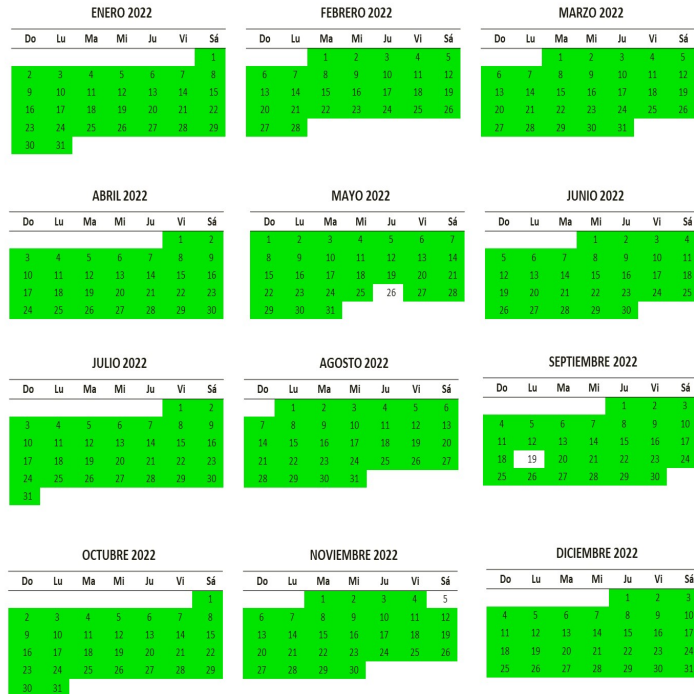
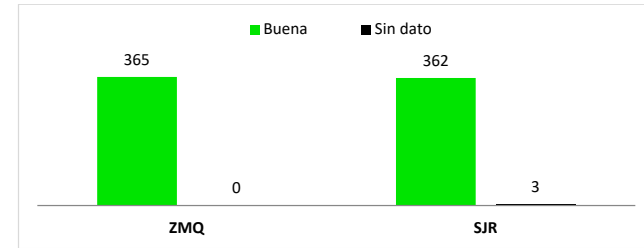


Imagen 9. Calendario ICARS de CO en SJR. Año 2022.

El conteo de días por calidad de aire de CO se muestra a continuación en la Gráfica 28, en la cual se puede observar que el comportamiento del CO durante 2022 fue bueno, registrando días con calidad del aire buena durante todo el año. Los días sin dato se debe a cortes de energía eléctrica principalmente, que queda fuera del alcance de la operación del SMCAQ, dado que se depende de la red eléctrica de la zona donde se ubica cada estación.



Gráfica 28. Conteo de días por calidad de aire y por ciudad del estado de Querétaro para CO. Año 2022.

V.3.3 Ozono (O₃).

La NOM-172-SEMARNAT-2019 que es la que determina el índice ICARS, cuenta con dos indicadores para determinar la calidad de aire por ozono: 1) el promedio de 1 hora; 2) el promedio móvil de 8 horas. Para el primer apartado, se realizó un calendario general por zona urbana (ZMQ y SJR) incluidos en las Imágenes 10 y 11, donde se incluyen los dos indicadores de ozono y cuál fue el que tuvo una peor calidad, por ejemplo, si en un día se tuvo calidad aceptable para ozono horario y calidad mala por ozono móvil de 8 horas, entonces el día se considera de calidad mala. Como puede observarse, los meses críticos de este contaminante fueron entre marzo y mayo, donde las condiciones meteorológicas favorecen la formación de ozono en las ciudades del estado, aumentando las concentraciones a niveles peligrosos para la salud de los habitantes.

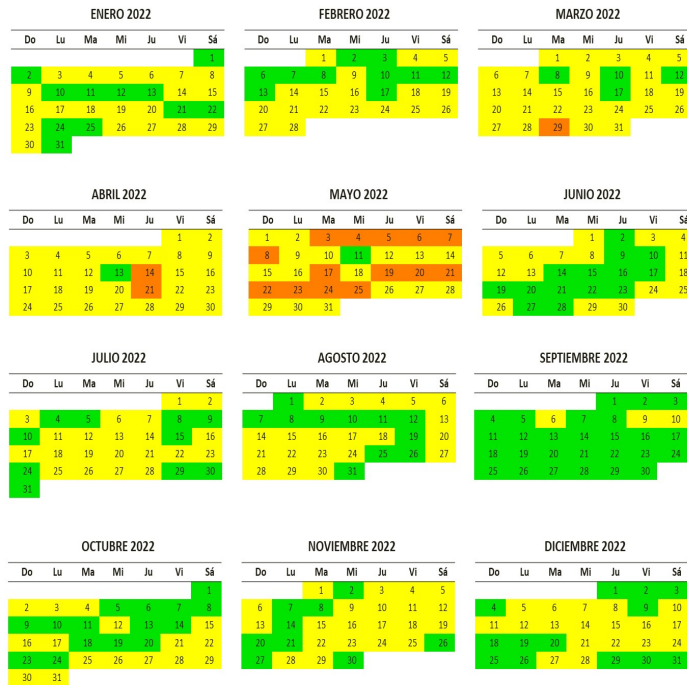


Imagen 10. Calendario ICARS de O₃ en la ZMQ. Año 2022.

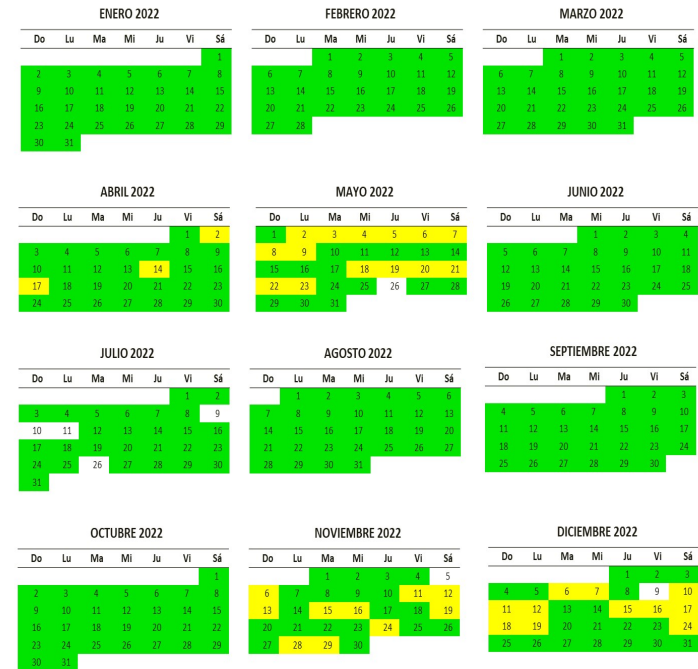
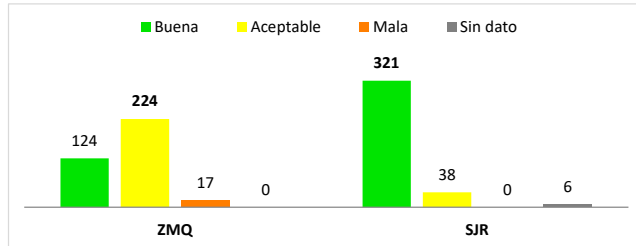


Imagen 11. Calendario ICARS de O₃ en SJR. Año 2022.

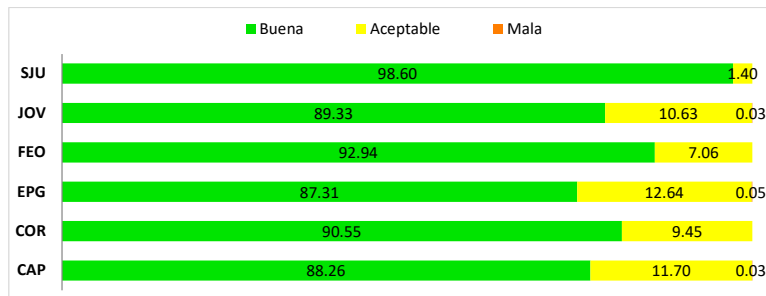
Con los datos obtenidos del monitoreo se realizó el conteo de días por calidad de aire de O₃, los valores se muestran en la Gráfica 29, en donde la Zona Metropolitana de Querétaro tuvo 125 días (34%) con calidad del aire buena, 223 días (61 %) en donde la calidad del aire fue aceptable y 17 días (5 %) con calidad del aire mala; por su parte en San Juan del Río 6 días (2 %) no se contó con datos por cortes de energía, 321 días (88 %) estuvo con calidad del aire buena y solo 38 días (10%) con calidad del aire aceptable. Los días sin dato se debe a cortes de energía eléctrica principalmente, lo que está fuera del alcance de la operación del SMCAQ, dado que se depende de la red eléctrica de la zona donde se ubica cada estación.



Gráfica 29. Conteo de días por calidad de aire y por ciudad del estado de Querétaro para O₃. Año 2022. En negrita se destaca el ICARS con más días.

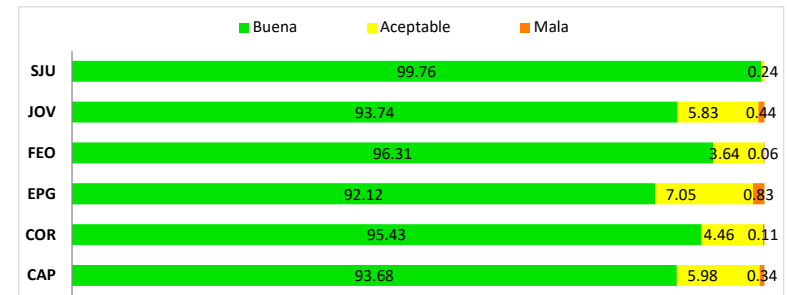
Asimismo, se realiza el análisis de cada parámetro ICARS por separado, mostrando los porcentajes, para la cual se toman en cuenta las horas por calidad de aire en cada una de las estaciones del SMCAQ.

El primer indicador para analizar es el ozono en su promedio horario, donde la Gráfica 30 muestra los porcentajes en relación con las horas que midieron este contaminante. Las estaciones donde se tuvo mayor cantidad de horas con calidad de aire aceptable fueron en las estaciones CAP y EPG, con porcentajes de alrededor de 12 % mientras que la estación FEO alcanzó cerca del 7 % en esta calidad. Sólo CAP, EPG y JOV alcanzaron calidad de aire mala en ozono. Por otro lado, SJR alcanzó apenas el 1 % de calidad de aire aceptable, siendo casi el 99 % de horas en calidad de aire buena, por lo tanto, el O₃ fue un contaminante que no representó un peligro para la salud en esta ciudad.



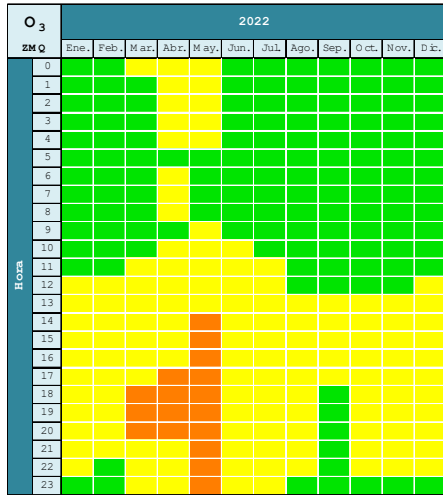
Gráfica 30. Porcentaje de horas por calidad de aire para O₃ horario en las estaciones del SMCAQ. Año 2022.

En cuanto al indicador del promedio móvil de 8 horas de ozono, se muestra el porcentaje de horas en la Gráfica 31. Aquí se puede observar que los porcentajes de calidad de aire aceptable disminuyeron con respecto al ozono del promedio horario, cabe destacar que aumentó el porcentaje de horas de calidad aceptable, con un máximo de 92.12 % en la estación EPG (equivalente a 72 horas) debido a los altos niveles de este contaminante sobre todo en los días de primavera, específicamente en el mes de mayo. El máximo de horas en el que la calidad del aire fue aceptable y mala se presentó en la estación EPG con cerca del 7 % y 0.83 %, respectivamente. En tanto en SJR, sólo el 0.2 % de horas fueron de calidad aceptable para este parámetro.



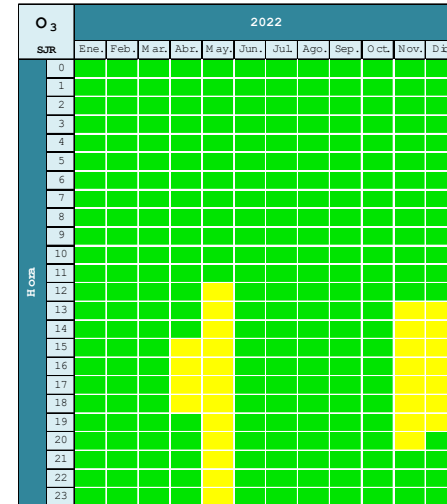
Gráfica 31. Porcentaje de horas por calidad de aire para O₃ móvil de 8 horas en las estaciones del SMCAQ. Año 2022.

Como último punto en el análisis ICARS es interesante ver el comportamiento en cada hora por mes, tanto en la ZMQ como en SJR. Las Gráficas 32 y 33 muestran el máximo de cada hora por mes para ozono, tanto horario como móvil de 8 horas, pudiendo de esta manera observar las horas en las que se debe tener mayor precaución con la población para que no realicen actividades al aire libre que pongan en riesgo su salud. La Gráfica 32, que es correspondiente a la ZMQ, muestra que, en los meses de marzo a mayo, entre las 14 y 23 horas, se debe tener una especial atención, porque los niveles de ozono son altos. Asimismo, en el resto de los meses se debe poner atención entre las 12 y 18 horas, donde en días soleados el ozono suele estar en calidad aceptable, que es un indicativo para que los grupos sensibles disminuyan sus actividades al aire libre.



Gráfica 32. ICARS máximo de ozono por hora y por mes en la ZMQ. Año 2022.

En cuanto a SJR, representado en la Gráfica 33, si bien en los meses de abril y mayo, se alcanzó calidad aceptable entre las 12 y 23 horas, así como en noviembre y diciembre de 2022 entre 12 y 18 horas, es un contaminante que no representó un mayor peligro para los habitantes de esta ciudad en el periodo de estudio.



Gráfica 33. ICARS máximo de ozono por hora y por mes en SJR. Año 2022.

V.3.4 Dióxido de azufre (SO₂).

A través del índice de Calidad de Aire y Riesgos a la Salud, se realiza la influencia en la salud de la población de este contaminante en las ciudades del Estado de Querétaro, teniendo como primer punto el calendario ICARS que como se ha indicado, muestra el mayor grado de calidad de aire alcanzado en cada día, en este caso siendo aceptable la más alta cota en el periodo de estudio. En la ZMQ, los meses fueron en el periodo comprendido entre marzo y mayo. En SJR fueron noviembre y diciembre. Imágenes 12 y 13.

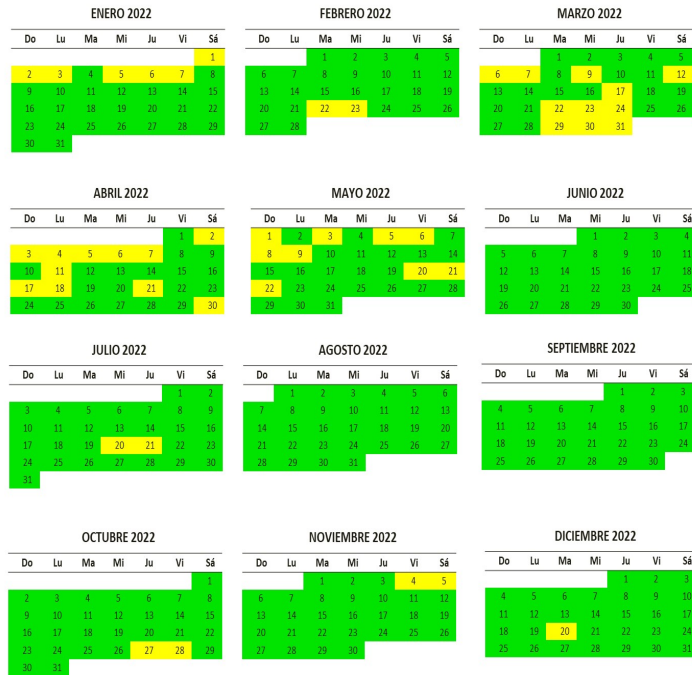


Imagen 12. Calendario ICARS de SO₂ en la ZMQ. Año 2022.

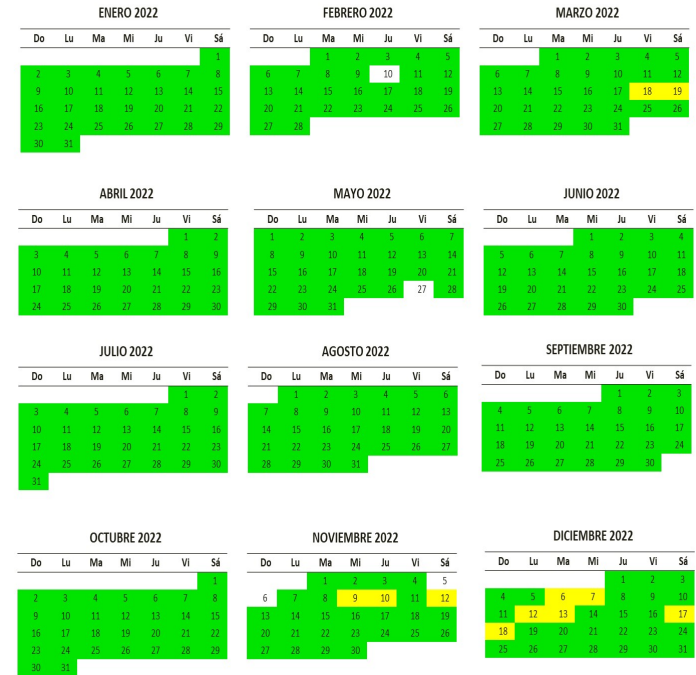
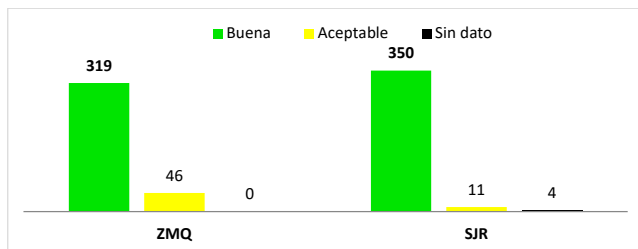


Imagen 13. Calendario ICARS de SO₂ en SJR. Año 2022.

Con esto, se realizó el conteo total de días con calidad buena, aceptable y en el que no hubo dato disponible. De acuerdo con la Gráfica 34 en el caso de la ZMQ alcanzaron 46 días de calidad de aire aceptable mientras que para SJR fueron 3 días. Los días sin dato se debe a cortes de energía eléctrica principalmente, los cuales están fuera del alcance de la operación del SMCAQ y se depende de la red eléctrica de la zona donde se ubica cada estación.



Gráfica 34. Conteo de días por calidad de aire y por ciudad del estado de Querétaro para SO₂. Año. 2022. En negrita se muestra el ICARS más común en el periodo.

Con el conteo de días realizado, se procede a realizar un análisis más fino en porcentajes de horas por calidad de aire, como se muestran en la Gráfica 35. En esta podemos observar que sólo se presentó calidad de aire aceptable en tres estaciones del SMCAQ: CAP y EPG en la ZMQ y SJU en SJR. En la ZMQ el máximo de horas en aceptable se presentó en EPG con hasta 5 % de sus horas en esta calidad y 3% en CAP. En la estación SJU fue aún menos significativo con sólo 1% de horas correspondiente a la banda amarilla.



Gráfica 35. Porcentaje de horas por calidad de aire para SO₂ en las estaciones del SMCAQ. Año 2022.

V.3.5 Partículas menores a 2.5 micras (PM_{2.5}).

El análisis del ICARS se muestra en la Imagen 14, donde se puede apreciar que para la Zona Metropolitana de Querétaro (ZMQ), los meses de junio, julio y octubre de 2022, se tuvo calidad del aire buena y aceptable. Los meses de abril, mayo, noviembre y diciembre son los que presentaron más días con mala calidad del aire y registrando incluso algunos días con muy mala calidad del aire. Esto se puede atribuir a que las condiciones meteorológicas en estos meses son más desfavorables para la dispersión de contaminantes, considerando que abril y mayo son meses secos con dispersión de partículas en el aire y, noviembre y diciembre son meses fríos con inversión térmica. Asimismo, es de resaltar que el 1 de enero se registró calidad del aire extremadamente mala, esto posiblemente atribuido al uso de juegos pirotécnicos.

Por otro lado, en San Juan del Río también se observa este comportamiento, los meses de abril, mayo, noviembre y diciembre son los que presentan más días con mala calidad del aire, los meses de marzo, junio, julio, agosto y septiembre tuvieron calidad del aire buena y aceptable, no registraron días con mala calidad del aire.

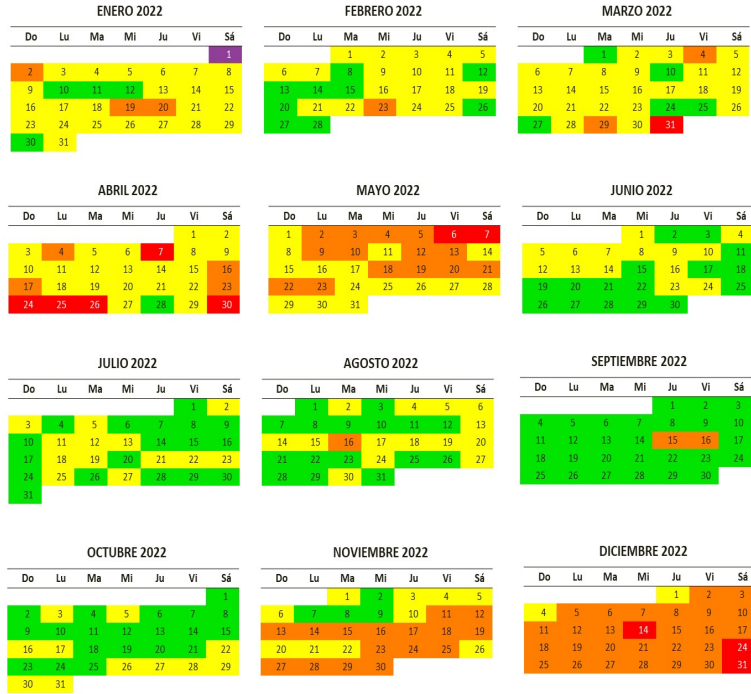


Imagen 14. Calendario ICARS de PM_{2.5} en ZMQ. Año 2022.

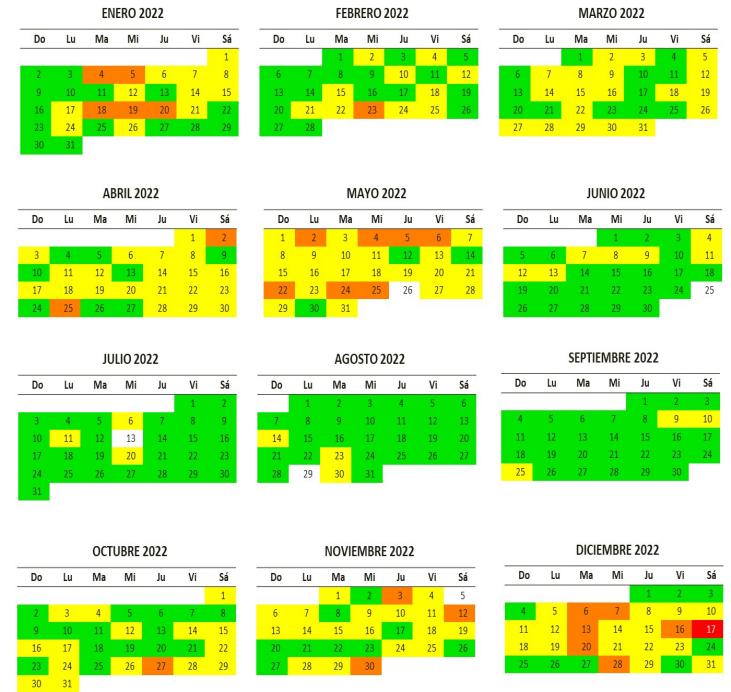
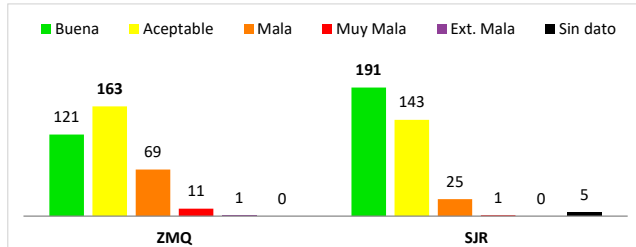


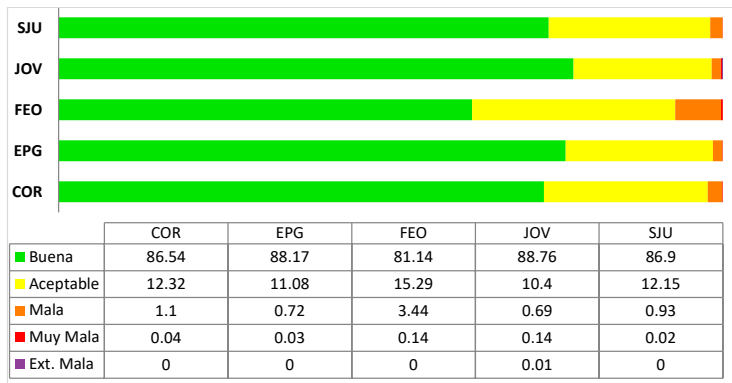
Imagen 15. Calendario ICARS de PM_{2.5} en SJR. Año 2022.

En cuanto a la cantidad de días con condición de calidad del aire buena, aceptable, mala, muy mala y extremadamente mala, en la Gráfica 36 se muestra el resultado para ZMQ y SJR. Para ZMQ, el 77% de los días en 2022 tuvieron calidad del aire buena y aceptable (121 y 163 días respectivamente), el 19 % de días se registró mala calidad del aire (69 días) y solo el 3% (11 días) tuvo calidad del aire muy mala. Para San Juan del Río, el 92 % de los días en 2022 (334 días) registraron buena y aceptable calidad del aire y solo el 7% (25 días) calidad del aire mala y solo un día se registró calidad del aire muy mala representando menos del 1%. Los días sin dato se debe a cortes de energía eléctrica principalmente, los cuales quedan fuera del alcance de la operación del SMCAQ, dado que se depende de la red eléctrica de la zona donde se ubica cada estación.



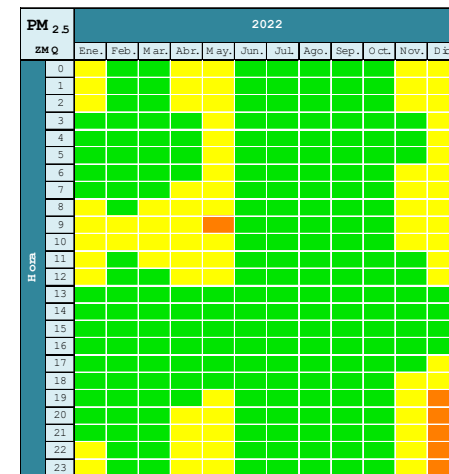
Gráfica 36. Conteo de días por calidad de aire y por ciudad del estado de Querétaro para PM_{2.5}. Año 2022.

El detalle del ICARS, se puede observar en la Gráfica 37 donde se muestra el porcentaje de horas en cada condición de calidad del aire, como lo establece la NOM-172-SEMARNAT-2019. En la ZMQ, la estación JOV fue la única que registró días de calidad extremadamente mala con el 0.01 % de horas en esta calidad, ocurridas el 1 de enero, asumiendo que fue debido al uso de fuegos pirotécnicos en la zona. La calidad del aire muy mala se registró en 4 de las 5 estaciones que midieron PM_{2.5}, con un porcentaje máximo de 0.14 % en las estaciones FEO y JOV, siendo FEO donde hubo un mayor porcentaje de horas en calidad del aire mala con 3.44 % y aceptable con 15.29 %. En San Juan del Río (SJR) fueron poco menos de 1 % de horas con calidad del aire mala y 12 % de horas en calidad del aire aceptable.



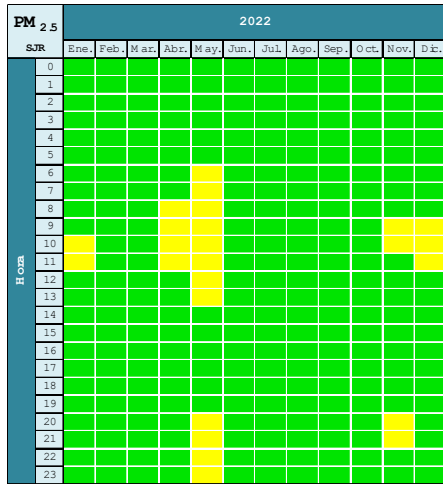
Gráfica 37. Porcentaje de horas por calidad de aire para PM_{2.5} en las estaciones del SMCAQ.

En cuanto al análisis de las horas con más altos niveles por mes y por ciudad se muestran en la Gráfica 38 donde está el análisis de la ZMQ, donde se grafica el promedio ICARS de cada una de las horas por mes, dejando sólo aquellas en calidad de aire aceptable o superior. Se puede observar que en el mes de mayo el promedio fue de calidad mala a las 9 horas, mientras que en diciembre entre las 19 y 23 horas se tuvo un promedio de calidad mala, por lo que esos meses pueden considerarse como los de más altas concentraciones en esas horas, con lo que se puede recomendar a la población en general extremar precauciones. Otras horas promedio, con calidad aceptable fueron entre las 0 y 12 horas de diciembre a mayo, al igual que de las 18 a 23 horas de noviembre a enero y de las 19 a 23 horas en abril y mayo.



Gráfica 38. ICARS promedio de PM_{2.5} por hora y por mes en la ZMQ. Año 2022.

En el caso de la ciudad de SJR, se mostraron como críticas dos épocas del año: de noviembre a enero y entre abril y mayo. Para la primera en promedio se tuvieron horas de calidad aceptable entre las 9 y 11 horas y las 19 y 20 horas. En el caso de la época primaveral las horas de mayor atención fueron entre las 5 y 13 horas y de 19 a 23 horas. Todas fueron en promedio aceptables. El detalle se muestra en la Gráfica 39.



Gráfica 39. ICARS promedio de PM_{2.5} por hora y por mes en SJR. Año 2022.

V.3.6 Partículas menores a 10 micras (PM₁₀).

En cuanto al análisis de ICARS, en la imagen 16 se observa que los meses de enero y diciembre fue donde se registraron más días con calidad del aire mala y muy mala, en diciembre se registraron dos días con calidad del aire extremadamente mala. Los meses de enero a mayo también registraron días con calidad del aire mala. Como se mencionó anteriormente en el mes de octubre prácticamente no se tuvieron datos, esto debido a que el equipo estuvo en mantenimiento.

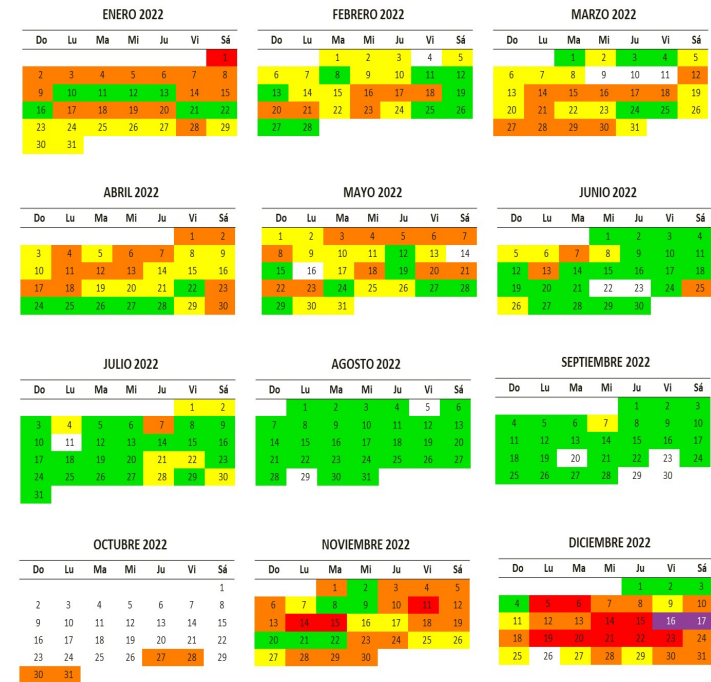
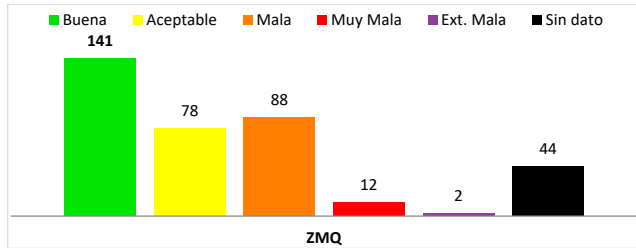


Imagen 16. Calendario de PM₁₀ en la ZMQ. Año 2022.

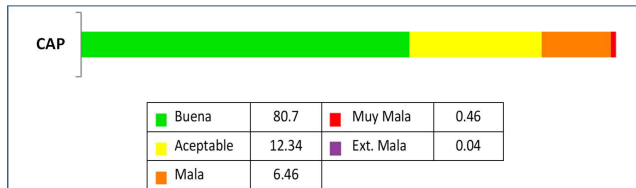
En cuanto al conteo de días, lo que se observa en la Gráfica 40, en la ZMQ 141 días (39 %) se tuvo buena calidad del aire, 78 días (21%) con calidad del aire aceptable, 88 días (24%) con calidad de aire mala, 12 días (3%) con calidad del aire muy mala y 2 días (menos del 1%) con calidad del aire extremadamente mala.



Gráfica 40. Cuento de días por calidad de aire de PM₁₀ en la ZMQ. Año 2022.

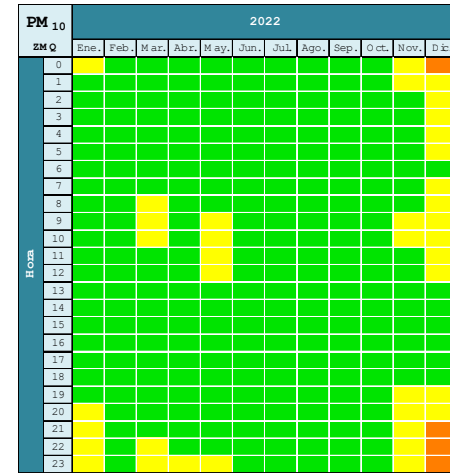
Los días sin dato durante el año se debió a fallas de energía eléctrica, los cuales quedan fuera del alcance de la operación del SMCAQ, dado que se depende de la red eléctrica de la zona donde se ubica cada estación. Además de que el equipo estuvo casi todo el mes de octubre en mantenimiento mayor.

En la Gráfica 41 se muestra el porcentaje en horas con condición de calidad del aire.



Gráfica 41. Porcentaje de horas por calidad de aire para PM₁₀ en la estación CAP. Año 2022.

En cuanto al análisis por día y por hora de PM₁₀ en el periodo estudiado se muestra en la Gráfica 42. En este caso fueron dos lapsos de horario en el que los promedios fueron elevados. Éstas correspondieron al periodo comprendido entre las 21:00 y las 00:00 horas, donde se intensificaron los picos de contaminación que podrían ser debido a los remanentes de la actividad del día combinado la inversión térmica lo que incrementa la concentración. También se observaron picos de promedios moderados en las madrugadas y mañanas de invierno y primavera.



Gráfica 42. ICARS promedio de PM₁₀ promedio por hora y por mes en la ZMQ. Año 2022.

VI. Cumplimiento normativo del SMCAQ

En este apartado se muestra un análisis general de todo el SMCAQ en cuanto al cumplimiento a lo establecido en las normas oficiales mexicanas de salud ambiental y a la NOM-172-SEMARNAT-2019, con la finalidad de tener un panorama general del comportamiento de la calidad del aire en la ZMQ y SJR.

- Normas Oficiales Mexicanas en materia de salud ambiental**

En la Tabla 10, se muestra un resumen del cumplimiento de la norma para cada uno de los contaminantes criterio (CC) en las estaciones del Sistema de Monitoreo de Calidad del Aire de Querétaro (SMCAQ).

Tabla 10. Cumplimiento de NOM del SMCAQ por contaminante por estación. Año 2022.

Estación	CAP	COR	EPG	FEO	JOV	SJU
NO ₂	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CO	✓	✓	✓	✓	✓	✓
O ₃	×	×	×	×	×	✓
SO ₂	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PM _{2.5}		×	×	×	×	×
PM ₁₀	×					

✓ Cumple el valor × No cumple el valor No se mide

En la Tabla 11 se observa el cumplimiento por zona, para la ZMQ y SJR. En la que se muestra que la ZMQ no cumplió con los límites máximos permisibles (LMP) establecidos en las normas oficiales mexicanas NOM-020-SSA1-2021 (Ozono) y NOM-025-SSA1-2021 para PM_{2.5} y PM₁₀, mientras que para SJR no se cumplió con los LMP especificados en la NOM-025-SSA1-2021 para PM_{2.5}.

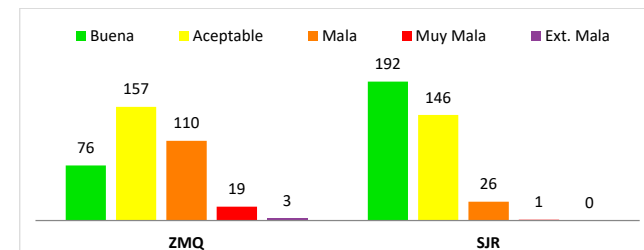
Tabla 11. Cumplimiento de NOM por contaminante por ciudad. Año 2022.

Zona	ZMQ	SJR
NO ₂	✓	✓
CO	✓	✓
O ₃	×	✓
SO ₂	✓	✓
PM _{2.5}	×	×
PM ₁₀	×	

✓ Cumple el valor × No cumple No se mide

- Índice de Calidad de Aire y Salud (ICARS)**

La Gráfica 43, muestra el conteo total de días por tipo de calidad de aire, tanto en la ZMQ como en SJR. Observando que en ZMQ 76 días (21 %) se tuvo buena calidad del aire, 157 días (43 %) calidad del aire aceptable, 110 días (30 %) calidad del aire mala, 19 días (5%) calidad del aire muy mala y 3 días (menos del 1%) con calidad del aire extremadamente mala. En SJR tuvo 192 días (53 %) buena calidad del aire, 146 días (40 %) calidad del aire aceptable, 26 días (7%) con calidad del aire mala y 1 día con calidad del aire muy mala.



Gráfica 43. Conteo de días ICARS por zona para todos los contaminantes monitoreados. Año 2022.

Con la finalidad de poder observar el comportamiento general de la calidad de aire durante el año 2022, se presenta el calendario de comportamiento anual por estación el cual representa cómo está la calidad del aire en la zona donde se ubica la estación.

En la imagen 17 se muestra el calendario ICARS de todos los contaminantes de la estación CAP, cabe señalar que esta estación es la única que monitorea PM₁₀, por tanto, el calendario esta influenciado por el comportamiento de este contaminante, además del Ozono y el bióxido de azufre que son los tres contaminantes que tuvieron concentraciones más elevadas en esta estación durante el 2022.

Los meses de noviembre, diciembre y enero fueron los que tuvieron días con calidad del aire muy mala, en diciembre llego hasta extremadamente mala en dos días, y de junio a septiembre son los meses que estuvieron con más días con calidad del aire buena.

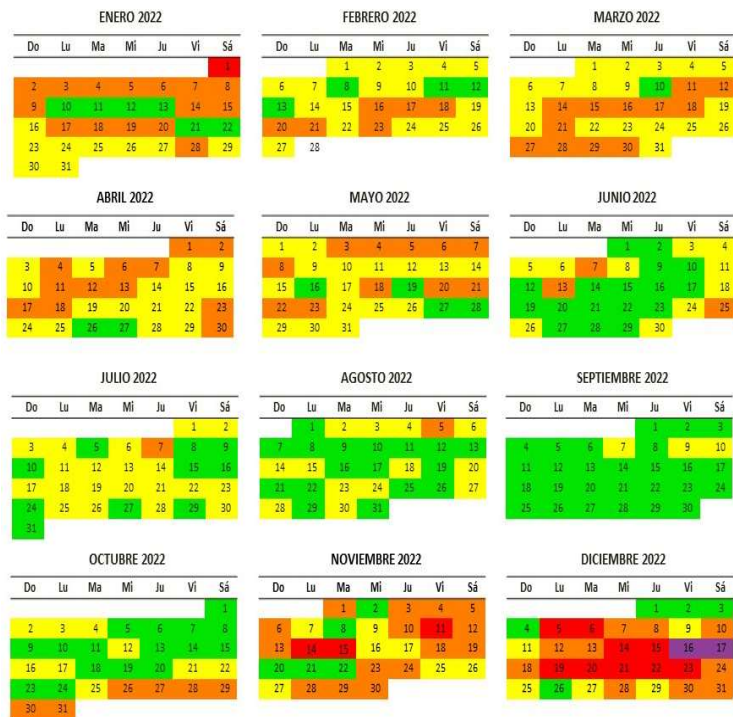


Imagen 17. Calendario ICARS de todos los contaminantes monitoreados estación CAP. Año 2022.

El calendario ICARS de la estación COR muestra el comportamiento de la zona donde se ubica la estación fue en la mayoría de los meses calidad del aire buena y aceptable, los meses con calidad del aire mala y muy mala fueron de marzo a mayo y en diciembre. Asimismo, se aprecia que septiembre fue el mes con mejor calidad del aire registrando solo un día con calidad del aire aceptable y todos los demás con buena calidad del aire. Imagen 18.

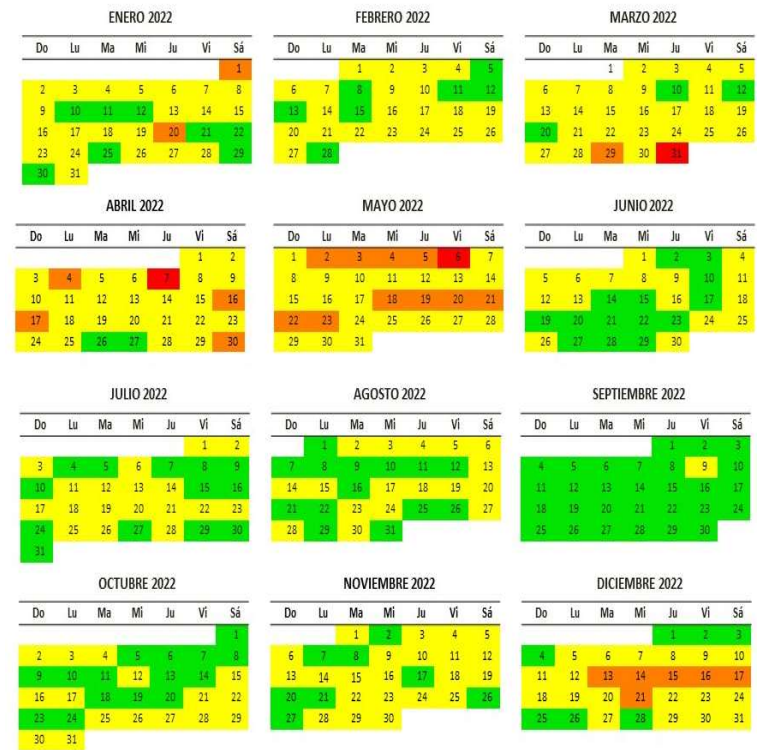


Imagen 18. Calendario ICARS de todos los contaminantes monitoreados estación COR. Año 2022.

El comportamiento en la zona de la estación EPG muestra la mayoría de los meses calidad del aire buena y aceptable, a excepción de dos meses, mayo y diciembre que se registraron varios con días con mala calidad del aire. En enero solo fue un día con calidad del aire muy mala que fue generalizado para todas las estaciones. Imagen 19.

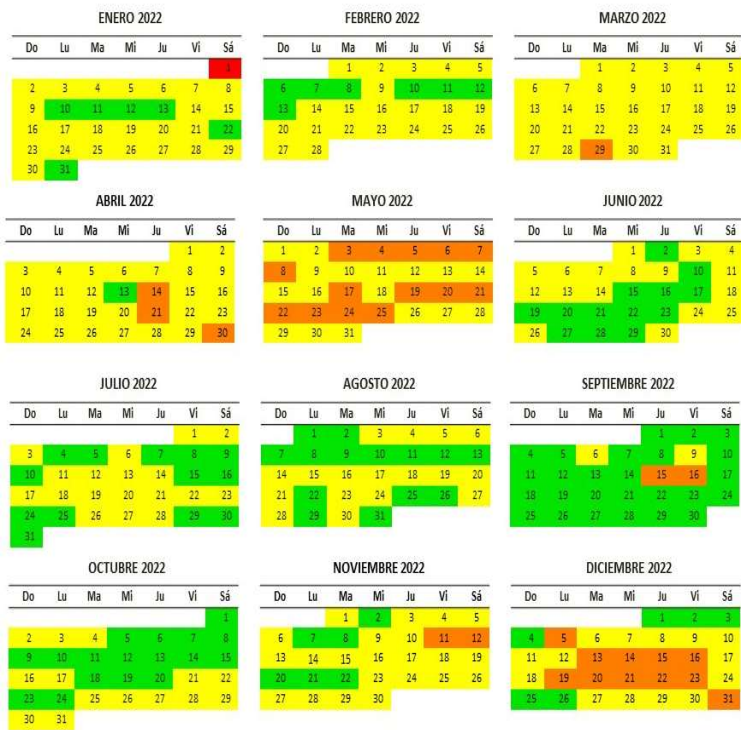


Imagen 19. Calendario ICARS de todos los contaminantes monitoreados **estación EPG**. Año 2022.

En la imagen 20 se muestra el comportamiento en la zona de la estación FEO observando que los meses de noviembre y diciembre se tuvieron varios días con mala y muy mala calidad del aire, abril también reporto tres días en muy mala, sin embargo, los demás meses estuvo en buena y aceptable, aunque cabe señalar que en el mes de septiembre todos los días se tuvo buena calidad del aire.

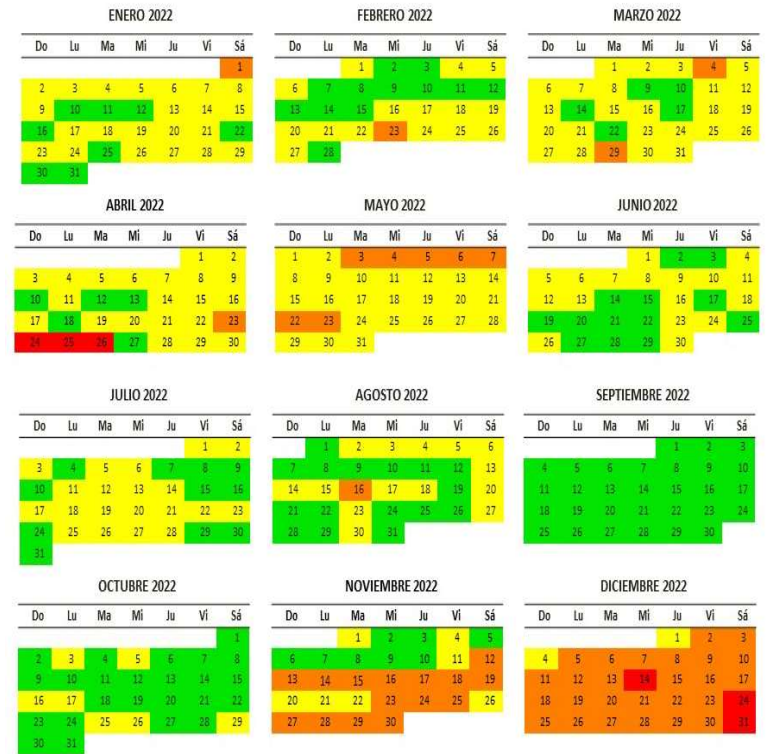


Imagen 20. Calendario ICARS de todos los contaminantes monitoreados **estación FEO**. Año 2022.

La estación JOV es la que tuvo mejor calidad del aire siendo solo el mes de mayo el que registro varios días con calidad del aire mala y un día muy malo, enero con un día con extremadamente mala, sin embargo, los demás meses estuvo en buena y aceptable sobre todo el segundo semestre del año. Imagen 21.

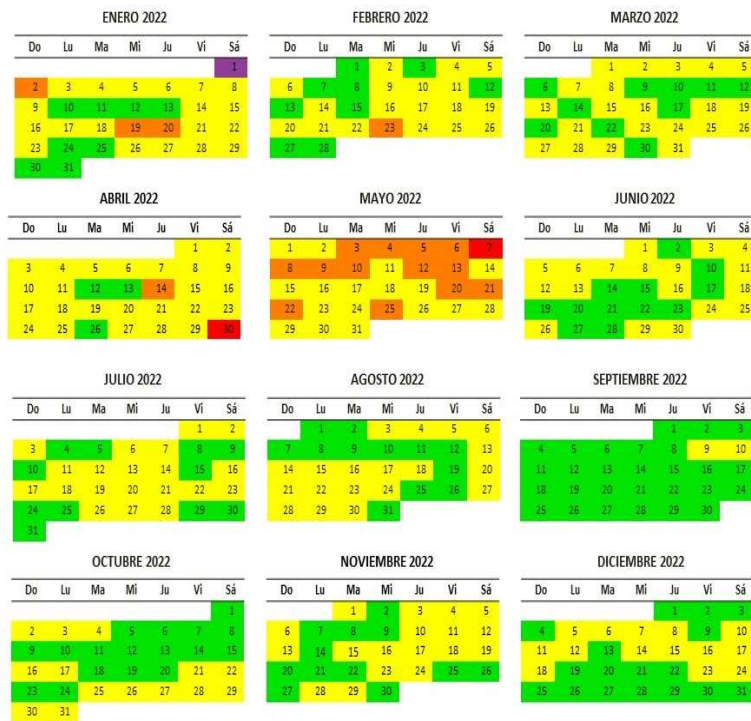


Imagen 21. Calendario ICARS de todos los contaminantes monitoreados estación JOV. Año 2022.

En cuanto al panorama general de SJR en la imagen 22, se observa que los meses de julio, agosto y septiembre más del 90% de los días estuvieron con buena calidad del aire, teniendo solo tres días cada mes con calidad del aire aceptable; los meses de mayo y diciembre fueron donde se registraron más días con calidad del aire mala, en diciembre un día hasta muy mala calidad del aire.

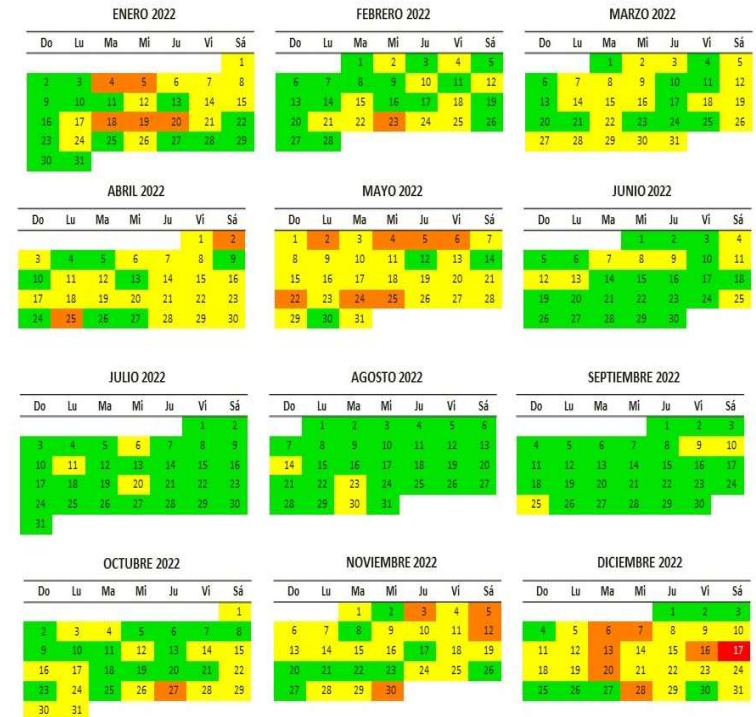


Imagen 22. Calendario ICARS de todos los contaminantes monitoreados en SJR. Año 2022.

VII. Meteorología.

Los parámetros meteorológicos medidos en las estaciones de la Zona Metropolitana de Querétaro fueron: Temperatura (TM), Humedad relativa (HR), Viento, Radiación solar (RS) e índice UV (I-UV).

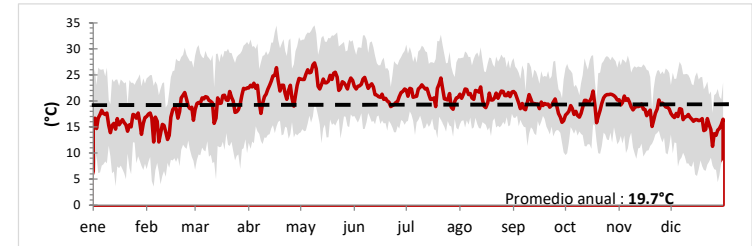
VII.1 Temperatura.

Primero se observa el comportamiento de la temperatura en la ciudad. El perfil del promedio mensual, mostrado en la tabla 19 deja notar que la temperatura promedio anual en la ciudad fue de 19.7°C, que representó un aumento de 0.4°C respecto al año 2021. El mes más caluroso fue mayo con una media de 24.2°C y máxima de 34.5°C. Por otro lado, el mes más frío fue diciembre con media de 16.0°C y mínima de 4.4°C. La mínima del año fue en enero y febrero con 3.6°C. Tabla 12.

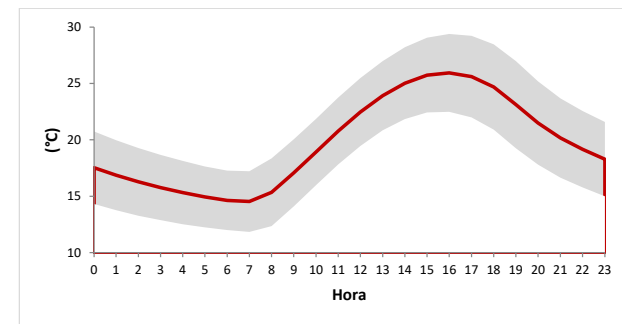
Tabla 12. Perfil mensual de temperatura en la ZMQ. Año 2022.

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Máx. Abs.	26.4	30.2	31.3	34.5	34.5	32.6	32.7	30.3	28.2	28.8	28.7	27.5	34.5
Máx. Prom.	23.9	25.2	28.9	30.2	31.9	28.6	28.7	28.0	25.1	26.1	26.0	23.6	27.2
Promedio	16.1	16.9	19.9	22.3	24.2	21.6	21.3	21.0	19.2	19.2	18.8	16.0	19.7
Mín. Prom.	7.7	8.1	10.1	13.7	15.6	15.8	15.5	15.5	14.7	12.7	11.6	8.2	12.4
Mín. Abs.	3.6	3.6	5.0	10.8	11.9	14.0	12.9	13.3	10.2	9.6	8.9	4.4	3.6
Escala (°C)													
<0.0	0.0-4.0	4.1-8.0	8.1-13.0	13.1-16.0	16.1-19.0	19.1-22.0	22.1-24.0	24.1-26.0	26.1-28.0	28.1-30.0	30.1-33.0	33.1-36.0	>36.0

Las Gráficas 44 y 45 muestran el perfil de los promedios diarios y del perfil horario de la temperatura en la ZMQ, donde en la última se puede observar que las horas de mayor temperatura fueron las 15 y 16 horas mientras que, por el contrario, las más frías fueron las 7 y 8 de la mañana, justo antes del amanecer. La temperatura alcanzó cotas más elevadas en los meses de primavera, en abril y mayo mientras que fueron más frías en enero, febrero y diciembre, con promedios debajo de los 17°C.



Gráfica 44. Perfil de promedio diario de la temperatura. Año 2022.



Gráfica 45. Perfil horario de la temperatura. Año 2022.

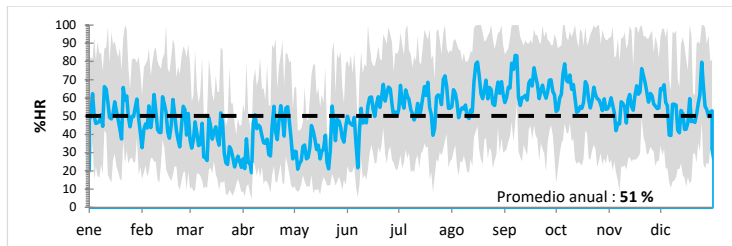
VII.2 Humedad relativa.

La humedad relativa en su perfil mensual está presentada en la Tabla 13., en la cual el promedio anual fue de 51 %, aumentando un 3 % con respecto al 2021 y la mínima anual fue de 4 % con un mínimo promedio diario de 23 % y un máximo promedio de 82 %. El mes más húmedo fue septiembre con 66 % de promedio mientras que el más seco fue marzo con sólo el 34 %. El máximo de 100 % se presentó en prácticamente todos los meses, ya que suele ser la humedad que alcanza en los días de lluvia.

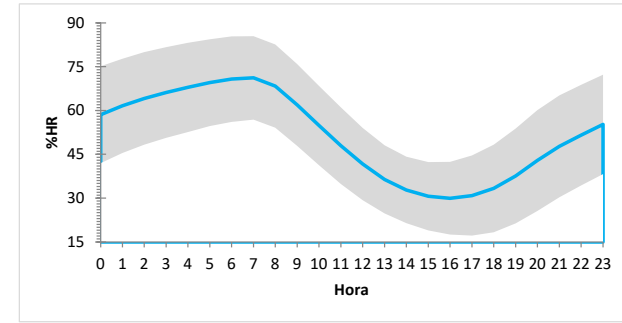
Tabla 13. Perfil mensual de la humedad relativa en la ZMQ. Año 2022.

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Máx. Abs.	100	100	88	92	91	100	100	100	100	100	100	100	100
Máx. Prom.	85	81	62	70	63	82	88	91	93	94	92	87	82
Promedio	52	47	34	39	35	52	58	61	66	61	58	53	51
Mín. Prom.	24	20	13	16	13	24	26	29	36	30	26	23	23
Mín. Abs.	14	9	6	4	7	6	8	17	20	13	9	11	4
Escala (%)													
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100			

En cuanto al promedio diario, se observan con claridad la época seca y humedad, donde en la época seca la línea de promedio está prácticamente todos los días por debajo de la media anual, esto desde mediados de febrero y hasta los primeros días de junio. La época húmeda por otro lado se muestra desde mediados de junio y hasta noviembre, donde la humedad relativa estuvo casi todo el tiempo por encima de la media. En cuanto a la humedad en su perfil horario, hubo más humedad durante las horas donde no hubo sol, en las horas de mayor temperatura, entre las 14 y 17 horas, fue la menor humedad registrada. El detalle de ambas está en las Gráficas 46 y 47.



Gráfica 46. Perfil de promedio diario de la humedad relativa en la ZMQ. Año 2022.



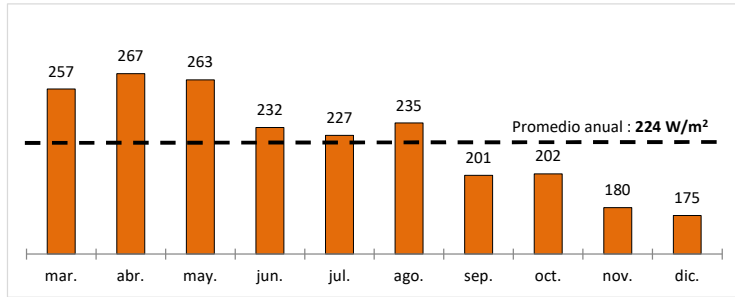
Gráfica 47. Perfil horario de la humedad relativa en la ZMQ. Año 2022.

VII.3 Radiación solar e índice UV.

En el mes de marzo de 2022, se instaló un sensor de radiación solar en la estación FEO ubicada en ZMQ, con la finalidad de contar con datos, tomando en cuenta que está relacionada con la química atmosférica de los contaminantes y la formación de ozono.

El análisis de la radiación solar y del índice UV se realizan de forma conjunta debido a que el índice UV depende de la radiación solar.

En la Gráfica 48, se muestra el perfil mensual de la radiación solar, observando que los meses de abril y mayo fueron los que presentaron mayores valores de radiación, en abril que es el que tuvo el mayor valor con 267 W/m², por otro lado, el mes con menor radiación diciembre registrando 175 W/m². El promedio anual fue de 224 W/m².



Gráfica 48. Promedio mensual de radiación solar en W/m² en la ZMQ. Año 2022.

El Índice UV es un indicador de los niveles de radiación solar. Para su análisis se consideró los valores especificados por la Organización Mundial de la Salud (OMS)¹², mostrados en la Tabla 14.

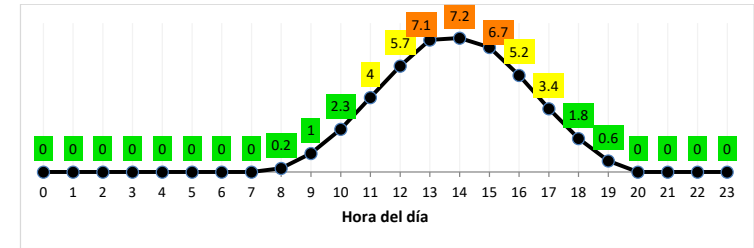
Tabla 14. categoría de exposición a la radiación UV

Categoría de exposición	Intervalo de valores del IUUV
Baja	< 2
Moderada	3 a 5
Alta	6 a 7
Muy Alta	8 a 10
Extremadamente alta	11 +

Referencia: OMS, 2003¹⁰.

En la Gráfica 51, se muestra el perfil horario del Índice UV obtenido con los datos medidos en 2022, que indica cuál fue el promedio por cada hora en el año, en donde se observa cuáles son las horas en que se tiene una mayor radiación. El periodo entre las 13 y 15 horas fue el más alto.

¹² OMS, 2003. Organización Mundial de la Salud. Índice UV Solar Mundial, Guía práctica.

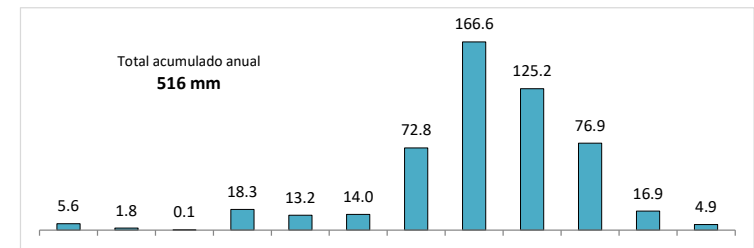


Gráfica 51. Perfil horario del índice UV en la ZMQ. Año 2022.

VII.4 Precipitación.

La precipitación en la ZMQ se presenta mayormente entre junio y septiembre, con días de caídas pequeñas seguidos de otros de gran intensidad. La mayor parte del año es seca, con precipitación media estatal de 570 mm¹³.

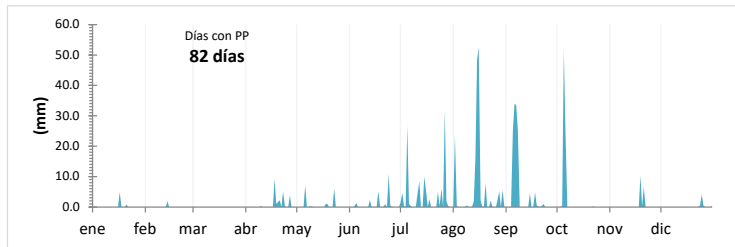
En el año 2022, la ZMQ tuvo un año por debajo de la media estatal con 516 mm acumulados. El mes más lluvioso fue septiembre mientras marzo fue el mes más seco, con apenas 0.1 mm de precipitación acumulada. El perfil mensual puede verse en la Gráfica 52.



Gráfica 52. Precipitación acumulada por mes en la ZMQ. Año 2022.

¹³ INEGI, 2020. <https://cuentame.inegi.org.mx>.

En tanto, al acumulado diario, los mayores acumulados fueron registrados el 16 de agosto y el 5 de octubre, donde se registraron niveles cercanos a 50 mm en un solo día, que causaron inundaciones en varias zonas debido a la intensidad de las lluvias. En total llovió en 82 días (22 %) durante el año. Gráfica 53.



Gráfica 53. Precipitación acumulada diaria en la ZMQ. Año 2022.

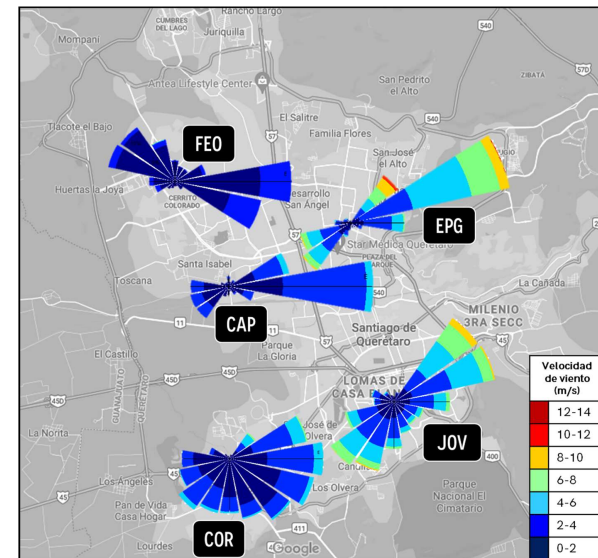
VII.5 Viento.

Este es uno de los factores meteorológicos más importantes, dado que determina la dirección en que se desplazan los contaminantes, así como días en que se tiene mucha, poca o nula dispersión de contaminantes.

En la Zona Metropolitana de Querétaro, como puede observarse en el Mapa 3, los vientos más dominantes son los del este, en algunas estaciones más que en otras, pero siempre con un porcentaje significativo. La estación CAP tuvo vientos mayormente entre los 2 y 4 m/s, con máximos de 6 m/s, proviniendo un mayor porcentaje desde el este y noreste, con un porcentaje de vientos menor pero significativo desde el este – suroeste.

La estación COR, ubicada en la parte suroeste de la ZMQ, registró vientos entre los 0 y 4 m/s, principalmente desde el sur con direcciones desde el oeste hasta el este, alcanzando máximas de 8 m/s. En la estación EPG fue la que registró mayores velocidades del viento, al estar ubicada en una zona más abierta y de mayor altitud que el resto de las estaciones, con velocidades promedio de entre 4 y 8 m/s, provenientes predominantemente del noreste con velocidades de hasta 12 m/s. También existió una importante porción desde el suroeste, con velocidades máximas cercanas a 10 m/s.

La estación FEO fue la que tuvo vientos más débiles de todas las estaciones con vientos mayoritariamente entre los 0 y 2 m/s y máximas de 5 m/s, provenientes principalmente de la dirección este-sureste, con una importante fracción desde el noreste. La estación JOV, tuvo un comportamiento similar a la estación EPG, con la fracción más importante proviniendo desde el noreste, con velocidades máximas de hasta 11 m/s, presentando una fracción importante desde el suroeste, con velocidades de hasta 10 m/s. La fracción más importante de velocidades fue entre los 2 y 6 m/s para esta última estación.



Mapa 3. Mapa de rosas de viento por estación en la ZMQ. Año 2022.

VIII. Conclusiones y perspectivas

El Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire del estado de Querétaro (SMCAQ) durante el 2022 continuó fortaleciéndose, prueba de ello es que se superaron los objetivos del Sistema de Gestión de Calidad lo que quedó evidenciado con el porcentaje de datos válidos obtenido en todas las estaciones el cual fue superior al 75 % establecido por las Normas Oficiales Mexicanas y superior al objetivo del SGC del 85%.

Asimismo, el SMCAQ cumplió en todo momento con el objetivo de mantener informada a la población brindando información de calidad, veraz y oportuna para protección de la salud, así como para la toma de decisiones para la disminución de emisiones.

En cuanto a los índices de calidad del aire los contaminantes dióxido de nitrógeno (NO₂) y Monóxido de carbono (CO) mostraron una calidad de aire buena, mientras que para los contaminantes ozono (O₃), dióxido de azufre (SO₂), material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀), la calidad del aire fue entre, aceptable, mala y muy mala, siendo para los últimos dos contaminantes también extremadamente mala.

Respecto al comportamiento de la calidad de aire, durante 2022 los contaminantes que se obtuvieron por arriba de los límites establecidos en las normas de salud ambiental fueron ozono (O₃) y las partículas PM_{2.5} y PM₁₀ en la ZMQ y para SJR solo las partículas PM_{2.5} estuvo fuera de los LMP, los cuales presentaron días con mala y muy mala calidad del aire.

Con el análisis realizado se han identificado las temporadas críticas en el año para cada uno de los contaminantes señalados. En el caso del ozono la meses con niveles más elevados de dicho contaminante fueron de marzo a mayo, durante este periodo se presentaron algunas horas con mala calidad del aire en ZMQ, el horario siendo el horario correspondiente entre las 15:00 y las 21:00 horas. Para el caso de SJR, aunque se tuvieron valores elevados no se rebasaron los LMP en la norma de salud y no se presentaron días con mala calidad del aire por este contaminante, aunque si se tuvieron varios días con calidad del aire aceptable.

En cuanto a las partículas PM_{2.5} la mayor cantidad de días con mala calidad del aire se presentó en la ZMQ, llegando a muy mala y extremadamente mala. Los meses más críticos fueron noviembre, diciembre y abril y mayo donde se registró un día con calidad del aire extremadamente mala, alcanzando 81 días con calidad del aire mala o superior. Las horas con mayores niveles se presentaron después de las 18:00 horas.

Respecto a SJR, las partículas PM_{2.5} fueron el único contaminante que alcanzó niveles arriba de los LMP establecidos por la NOM, teniendo así 26 días con calidad del aire mala y un día con calidad del aire muy mala. Los meses con niveles más elevados fueron de octubre a enero y mayo, siendo las horas con mayor concentración de las 6:00 a las 11:00 horas.

Las partículas PM₁₀ monitoreadas solo en la estación CAP de ZMQ fue el contaminante que presento los niveles más elevados, llegando a 102 días en calidad del aire mala o superior y dos días con calidad del aire extremadamente mala. Los meses más críticos fueron noviembre, diciembre y de enero a mayo. Los niveles más elevados se registraron de las 19:00 a las 0:00 horas y de las 7:00 a las 12:00 horas.

La perspectiva del SMCAQ es continuar con la mejora continua a través del fortalecimiento del SGC, con lo que se podrá continuar ofreciendo información de calidad y oportuna a la población, para protección de su salud, en especial aquellos grupos considerados sensibles. Esto también con el reforzamiento de los sistemas de información que permiten la publicación en tiempo real disponible para toda la población.

Asimismo, con el compromiso de la SEDESU se logrará poder realizar la renovación de equipos cercanos a su vida útil y la incorporación de estaciones nuevas con la más avanzada tecnología para continuar generando información de calidad.

Referencias

- Comisión Nacional del Agua. (2019). CONAGUA. Obtenido de Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.: <http://cmx.org.mx/wp-content/uploads/MAPAS%202015/libros/SGAPDS-1-15-Libro19.pdf>.
- Diario Oficial de la Federación, 16 de julio de 2012. NOM-156-SEMARNAT-2012. Establecimiento y operación de monitoreo de la calidad del aire.
- Diario Oficial de la Federación, 20 de agosto de 2019. NOM-022-SSA1-2019. "Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al Dióxido de Azufre (SO₂). Valor normado 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, 20 de noviembre de 2019. NOM-172-SEMARNAT-2019. lineamientos para la obtención y comunicación del índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud (ICARS).
- Diario Oficial de la Federación, 27 de octubre 2021. NOM-023-SSA1-2021. "Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de nitrógeno (NO₂). Valor normado 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 de octubre de 2021. NOM-025-SSA1-2021. "Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a partículas suspendidas PM₁₀ y PM_{2.5}. Valor normado para la concentración de a 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 de octubre de 2021. NOM-020-SSA1-2021. "Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al Ozono (O₃). Valor normado 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 de octubre de 2021. NOM-021-SSA1-2021. "Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al Monóxido de Carbono (CO). Valor normado para la concentración de Monóxido de Carbono (CO) en aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población".
- Querétaro, I. M. (17 de febrero de 2021). Implan Querétaro. Obtenido de Zona Metropolitana de Querétaro: <https://implanqueretaro.gob.mx/mapoteca-toc/25-zona-metropolitana/100-zona-metropolitana-de-queretaro-1-1>.
- Salazar, C., & Castillo., S. D. (2017). Fundamentos Básicos de Estadística. (1° ed.).
- Salinas, E. S., Hernández, M. L., & Godínez., M. L. (2014). Contaminación Urbana del Aire. Aspectos fisicoquímicos, microbiológicos y sociales. Morelos: Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Obtenido de Aspectos fisicoquímicos, microbiológicos y sociales.
- Salud. OMS, 2003. Organización Mundial de la Salud. Índice UV Solar Mundial, Guía práctica.

Conceptos¹⁴

- **Compleción de datos:** cantidad mínima de datos para realizar un análisis estadístico representativo.
- **COV's:** (Compuestos orgánicos volátiles) son todos aquellos hidrocarburos que se presentan en estado gaseoso a la temperatura ambiente normal o que son muy volátiles a dicha temperatura.
- **Humedad relativa:** es la relación que indica la cantidad de vapor de agua que hay en el aire.
- **ICARS:** es el Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud. Indicador para la notificación del estado de la calidad del aire que evidencia el grado de pureza o de contaminación atmosférica y los efectos potenciales para la salud.
- **Índice UV:** es una medida de la intensidad de la radiación ultravioleta solar en la superficie terrestre.
- **Inversión térmica:** por lo regular a nivel de piso la temperatura es más cálida y las capas superiores son más templadas, predominando posteriormente aire frío. Cuando sucede el fenómeno de inversión térmica se invierten las temperaturas, frío en la parte más baja y posteriormente aire caliente. Estas capas actúan como una tapa que impide el movimiento ascendente del aire contaminado.
- **Meteorología:** es la rama de la Física que estudia la atmósfera y los fenómenos físicos que en ella tienen lugar. Su objetivo es estudiar los fenómenos atmosféricos y resolver el problema fundamental de la meteorología, a saber, la predicción del tiempo.
- **Plan de contingencia ambiental atmosférica:** es un conjunto de estrategias, acciones y procedimientos que permiten prevenir, controlar y atender los episodios por emisiones atmosféricas que se presentan cuando los tiempos y concentraciones de exposición del contaminante atmosférico exceden los límites permisibles establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas de la Secretaría de la Salud.
- **Precipitación pluvial:** es la caída de agua desde la atmósfera a la superficie de la tierra en forma de lluvia.

¹⁴ Comisión Nacional del Agua, 2019
Organización Mundial de la Salud (OMS), 2022
NOM-172-SEMARNAT-2019

- **Presión barométrica:** es la presión atmosférica de un sitio corregida por su altitud.
- **Promedio horario:** Se requiere contar con, al menos, el 75 % de los registros de la hora, es decir, debe calcularse promediando las concentraciones registradas en al menos 45 minutos.
- **Promedio móvil de 24 horas:** Se requiere al menos el 75 % de las concentraciones promedio horaria, por ende, se requieren de un mínimo de 18 horas de información. Para realizar el promedio se toma la hora seleccionada y las 23 concentraciones horarias previas.
- **Promedio móvil de 8 horas:** Se requieren, al menos, el 75 % de las concentraciones promedio horaria, por lo tanto, se requiere un mínimo de seis horas de información. El promedio se calcula a partir de las concentraciones promedio horario, tomando el promedio de la hora seleccionada con las siete concentraciones registradas en las horas previas.
- **Promedio móvil ponderado de 12 horas:** Para su cálculo se requieren los promedios horarios de, al menos, dos de las tres horas más recientes de las 12 involucradas. El cálculo de la concentración promedio móvil ponderado de 12 horas requiere de dos fórmulas más para poder realizarse.
- **Radiación solar:** es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas.
- **Rosa de vientos:** expresa la valoración de la dirección del viento a lo largo del tiempo, con el fin de analizar la procedencia del viento durante un periodo de tiempo determinado.
- Se utilizan distintos tipos de promedios para calcular el índice de calidad del aire, por lo que en la tabla siguiente se describen a continuación.
- **Temperatura:** es una cantidad física que mide la cantidad de calor que hay en un medio.
- **Viento:** se llama viento al movimiento del aire por gradientes de temperatura. Sus parámetros importantes de medición son su velocidad y dirección (de dónde viene).



SECRETARÍA DE
DESARROLLO
SUSTENTABLE



QUERÉTARO
GOBIERNO DEL ESTADO
Justicia y Equidad

INFORME DEL ESTADO Y TENDENCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE 2022

Sistema de Monitoreo de Calidad
del Aire del Estado De Querétaro (SMCAQ)

