

# Informe de Estado y Tendencia de la Calidad del Aire del Estado de Querétaro 2021



## 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**  
Bvd. Bernardo Quintana No. 204, Carretas C.P. 76050  
Querétaro, Qro. Febrero 2022.

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

## Contenido

I.	Introducción.....	7
I.1	Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire del Estado de Querétaro (SMCAQ).....	8
I.2	Infraestructura y parámetros medidos por estación .....	9
I.4	Parámetros medidos por estación.....	12
II.	Marco normativo del monitoreo de la calidad del aire.....	13
III.	Contaminantes criterio .....	17
IV.	Análisis de comportamiento por contaminante.....	21
IV.1	Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ).....	22
IV.2	Análisis del monóxido de carbono (CO) .....	28
IV.4	Análisis del ozono (O <sub>3</sub> ).....	34
IV.5	Análisis del dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ).....	45
IV.6	Análisis del material particulado (PM).....	51
V.	Análisis de variables meteorológicas.....	63
V.1	Temperatura.....	63
V.2	Humedad relativa .....	64
V.1	Rosas de viento.....	66
VI.	Conclusiones y perspectiva.....	68
	Acrónimos .....	70
	Bibliografía .....	71
	Anexo.....	73

## Gráficas

Gráfica 1.	Comportamiento mensual del NO <sub>2</sub> en las estaciones del SMCAQ.....	24
Gráfica 2.	Perfil de comportamiento temporal del NO <sub>2</sub> en las estaciones del SMCAQ.....	25
Gráfica 3.	Índice de Aire y Salud del NO <sub>2</sub> en las estaciones del SMCAQ.....	25
Gráfica 4.	Segundo promedio horario máximo de NO <sub>2</sub> .....	28
Gráfica 5.	Comportamiento mensual del CO por estación.....	30
Gráfica 6.	Comportamiento temporal del CO por estación.....	30
Gráfica 7.	Índice de Aire y Salud del CO en las estaciones del SMCAQ.....	31
Gráfica 8.	Cumplimiento normativo de la NOM-021-SSA1-1993.....	33
Gráfica 9.	Comportamiento mensual del O <sub>3</sub> en las estaciones del SMCAQ.....	36
Gráfica 10.	Comportamiento temporal del O <sub>3</sub> en las estaciones del SMCAQ.....	37
Gráfica 11.	Índice de Aire y Salud del O <sub>3</sub> , promedio horario.....	38
Gráfica 12.	Índice de Aire y Salud del O <sub>3</sub> , promedio móvil de 8 h.....	39
Gráfica 13.	Cumplimiento normativo de la NOM-020-SSA1-2014, promedio horario.....	44
Gráfica 14.	Cumplimiento normativo de la NOM-020-SSA1-2014, promedio móvil de 8 h.....	44
Gráfica 15.	Comportamiento mensual del SO <sub>2</sub> en las estaciones del SMCAQ.....	46
Gráfica 16.	Perfil horario del comportamiento del SO <sub>2</sub> en las estaciones del SMCAQ.....	47
Gráfica 17.	Índice de Aire y Salud del SO <sub>2</sub> en las estaciones del SMCAQ.....	47
Gráfica 18.	Cumplimiento normativo de la NOM-022-SSA1-2019, promedio horario.....	50
Gráfica 19.	Cumplimiento normativo de la NOM-022-SSA1-2019, promedio 24 h.....	51
Gráfica 20.	Comportamiento mensual de PM <sub>10</sub> en las estaciones del SMCAQ.....	52
Gráfica 21.	Comportamiento temporal de PM <sub>10</sub> en estación CAP.....	53
Gráfica 22.	Índice de Aire y Salud del PM <sub>10</sub> , en porcentaje de horas.....	53
Gráfica 23.	Cumplimiento normativo NOM-025-SSA1-2014 del promedio diario para PM <sub>10</sub> .....	55
Gráfica 24.	Cumplimiento normativo NOM-025-SSA1-2014 promedio semestral para PM <sub>10</sub> .....	55
Gráfica 25.	Comportamiento mensual del PM <sub>2.5</sub> por estación.....	57
Gráfica 26.	Comportamiento temporal de PM <sub>2.5</sub> en las estaciones del SMCAQ.....	58
Gráfica 27.	Índice de Aire y Salud para PM <sub>2.5</sub> en porcentaje de horas.....	59
Gráfica 28.	Cumplimiento normativo de la NOM-025-SSA1-2014, promedio 24h de PM <sub>2.5</sub> .....	62
Gráfica 29.	Cumplimiento normativo de la NOM-025-SSA1-2014, promedio anual de PM <sub>2.5</sub> .....	62
Gráfica 30.	Comportamiento de la temperatura en la ZMQ.....	63
Gráfica 31.	Comportamiento de la humedad relativa (HR) en la ZMQ.....	65

## Imágenes

Imagen 1.	Zona Metropolitana de Querétaro.....	7
Imagen 2.	San Juan del Río.....	8
Imagen 3.	Estructura del Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire del Estado de Querétaro.....	9

Imagen 4. Ubicación de estaciones de monitoreo de calidad del aire en la ZMQ.....	10
Imagen 5. Ubicación de la estación de monitoreo de calidad del aire en San Juan del Río.....	10
Imagen 6. Penetración del material particulado según su tamaño (Biosait, 2019).....	21
Imagen 7. Calidad del aire del NO <sub>2</sub> en la Zona Metropolitana de Querétaro.....	26
Imagen 8. Calidad del aire del NO <sub>2</sub> en San Juan del Río.....	27
Imagen 9. Calidad del aire del CO en la Zona Metropolitana de Querétaro.....	32
Imagen 10. Calidad del aire del CO en San Juan del Río.....	32
Imagen 11. Calidad del aire de O <sub>3</sub> , promedio horario, en Zona Metropolitana de Querétaro. ...	40
Imagen 12. Calidad del aire del O <sub>3</sub> , promedio horario, en San Juan del Río.....	41
Imagen 13. Calidad del aire de O <sub>3</sub> , promedio móvil de 8 h, Zona Metropolitana de Querétaro. 42	
Imagen 14. Calidad del aire del O <sub>3</sub> , promedio móvil de 8 h, en San Juan del Río.....	43
Imagen 15. Calidad del aire del SO <sub>2</sub> en la Zona Metropolitana de Querétaro.....	48
Imagen 16. Calidad del aire del SO <sub>2</sub> en San Juan del Río.....	49
Imagen 17. Calidad del aire del PM <sub>10</sub> estación CAP.....	54
Imagen 18. Calidad del aire del PM <sub>2.5</sub> en la Zona Metropolitana de Querétaro.....	60
Imagen 19. Calidad del aire del PM <sub>2.5</sub> en San Juan del Río.....	61
Imagen 20. Rosas de viento del primer semestre 2021. Zona Metropolitana de Querétaro.....	66
Imagen 21. Rosas de viento del segundo semestre 2021. Zona Metropolitana de Querétaro....	67

#### Tablas

Tabla 1. Ubicación de estaciones de monitoreo del SMCAQ.....	11
Tabla 2. Parámetros de calidad del aire medidos por estación.....	12
Tabla 3. Parámetros meteorológicos medidos en cada estación del SMCAQ.....	13
Tabla 4. Rangos del Índice de Aire y Salud para cada contaminante criterio.....	14
Tabla 5. Límites Máximos Permisibles de Normas de Salud Ambiental vigentes en 2021.....	15
Tabla 6. Actualización de las normas de Salud Ambiental que entraron en vigor en diciembre 2021.....	16
Tabla 7. Información general sobre el NO <sub>2</sub> .....	17
Tabla 8. Información general sobre el CO.....	18
Tabla 9. Información general sobre el O <sub>3</sub> .....	19
Tabla 10. Información general sobre el SO <sub>2</sub> .....	19
Tabla 11. Información general sobre el PM.....	20
Tabla 12. Compleción de datos trimestral por estación, en porcentaje, para NO <sub>2</sub> .....	22
Tabla 13. Resumen estadístico del NO <sub>2</sub> en el Estado de Querétaro.....	23
Tabla 14. Cumplimiento de la NOM-023-SSA1-1993 por estación.....	27
Tabla 15. Compleción trimestral de datos por estación, en porcentaje, para CO.....	28
Tabla 16. Resumen estadístico del CO por estación.....	29
Tabla 17. Cumplimiento de la NOM-021-SSA1-1993.....	33

Tabla 18. Porcentaje de completación de datos trimestral por estación de O <sub>3</sub> .....	34
Tabla 19. Resumen estadístico del ozono en las estaciones del SMCAQ.....	35
Tabla 20. Cumplimiento de la NOM-020-SSA1-2014.....	43
Tabla 21. Porcentaje de completación de datos para SO <sub>2</sub> , en porcentaje.....	45
Tabla 22. Resumen estadístico del SO <sub>2</sub> .....	45
Tabla 23. Análisis del cumplimiento de la NOM-022-SSA1-2019.....	50
Tabla 24. Porcentaje de completación de datos por trimestre para PM <sub>10</sub> .....	51
Tabla 25. Resumen estadístico de PM <sub>10</sub> .....	52
Tabla 26. Cumplimiento de la NOM-025-SSA1-2014 para PM <sub>10</sub> .....	54
Tabla 27. Porcentaje de completación de datos para PM <sub>2.5</sub> .....	55
Tabla 28. Resumen estadístico del PM <sub>2.5</sub> por estación.....	56
Tabla 29. Cumplimiento de la NOM-025-SSA1-2014 para PM <sub>2.5</sub> .....	61
Tabla 30. Comportamiento mensual de la temperatura en la ZMQ.....	64
Tabla 31. Conceptos básicos de estadística descriptiva.....	73
Tabla 32. Conceptos básicos de meteorología.....	74

## I. Introducción

El Estado de Querétaro cuenta con 18 municipios de los cuales se calcula que el 75% de la población se concentra en la Zona Metropolitana de Querétaro, en la zona occidental, que abarca 4 municipios (Implan, 2020): Querétaro, Corregidora, El Marqués y Huimilpan. Por otro lado, en la parte sureste del Estado se encuentra el municipio de San Juan del Río.

La Zona Metropolitana de Querétaro se ubica en la parte suroeste del Estado. Tiene una altura media de 1820 msnm y está integrada por 4 municipios que abarcan 2053.4 km<sup>2</sup>, lo que es cerca de 20% del territorio estatal. La población en el 2018 alcanzaba 1,097,025 habitantes. La flota vehicular es de alrededor de 550,000 vehículos con índice de motorización de 501 vehículos por cada mil habitantes. Cuenta con una importante actividad industrial, destacando los ramos de agroindustria, industria automotriz, de maquinaria, industria de la construcción, de productos químicos, aeroespacial, comercio y de tecnologías de la información (Implan, 2021; SEMARNAT, 2010; INEGI, 2017; CONAPO, 2018; SEDESU, 2021; CONACO, 2018).

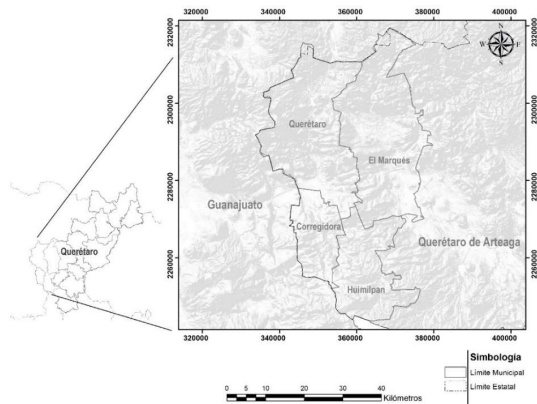


Imagen 1. Zona Metropolitana de Querétaro.

El municipio de San Juan del Río se ubica en la parte oriental del Estado de Querétaro, con altura media de 1,928 msnm y extensión territorial de 799.9 km<sup>2</sup>, que es el 10% del territorio total estatal. Cuenta con una población total de 268,408 habitantes y flota vehicular de 61,332 vehículos, dando un índice de motorización de 228 vehículos por cada mil habitantes. Se distingue por su industria manufacturera, de comercio, química, papelería y vitivinícola (SEDESU, 2017; INEGI, 2017; CONACO, 2018).

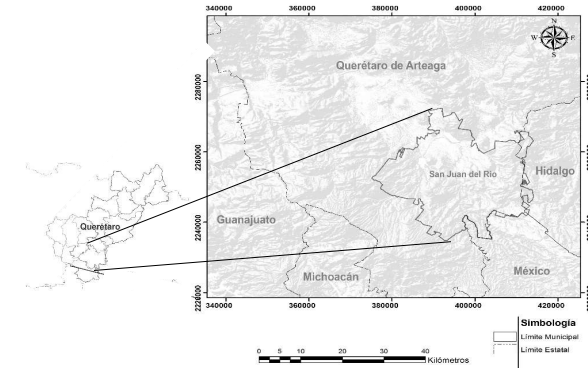


Imagen 2. San Juan del Río

### I.1 Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire del Estado de Querétaro (SMCAQ)

El Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire del Estado de Querétaro (SMCAQ) es operado por la Secretaría de Desarrollo Sustentable del Poder Ejecutivo del Estado (SEDESU) a través del Centro de Monitoreo de Calidad del Aire de Querétaro (CeMCAQ) tiene como objetivos los siguientes:

#### Objetivo general

Proporcionar información veraz y oportuna sobre la calidad del aire e informar a la población en general sobre los niveles de exposición a la contaminación atmosférica y sus posibles riesgos a la salud.

#### Objetivos específicos

- Monitorear la calidad del aire conforme lo establecido en las Normas Oficiales Mexicanas.
- Determinar el grado de cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas en materia de límites máximos permisibles de contaminantes criterio en la atmósfera.
- Informar a la población en general a través de una página web, sobre la calidad del aire en la Zona Metropolitana de Querétaro y San Juan del Río.
- Generar informes de estado y tendencias en materia de calidad del aire.
- Contar con información que permita fortalecer las políticas públicas en materia de mejoramiento de la calidad del aire.

## Estructura

El SMCAQ es administrado por la SEDESU a través del Centro de Monitoreo de Calidad del Aire donde se tiene asignado un responsable de todo el Sistema de Monitoreo de calidad del aire, quien se encarga de la operación, mantenimiento y calibración de las estaciones de monitoreo, así como del respaldo, análisis, validación y publicación de la información.



Imagen 3. Estructura del Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire del Estado de Querétaro.

El área de Operación de estaciones de monitoreo es la encargada de garantizar el correcto funcionamiento de los equipos que conforman las estaciones de monitoreo, a través del mantenimiento y calibraciones de equipos conforme a lo establecido en la NOM-156-SEMARNAT-2012 con lo que se garantiza 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, conforme a lo establecido en la NOM-172-SEMARNAT-2019 publicando en tiempo real el Índice de Aire y Salud, además de mantener informada a la población de los niveles a través de la página web, los medios de comunicación establecidos en redes sociales y la App móvil Ambiente QRO; así como generar indicadores para evaluar la calidad del aire conforme a las normas oficiales mexicanas de salud ambiental.

### I.2 Infraestructura y parámetros medidos por estación

El SMCAQ está compuesto por dos sistemas: uno para la Zona Metropolitana de Querétaro y otro para San Juan del Río. En la Zona Metropolitana de Querétaro se tienen operando siete estaciones de monitoreo y en San Juan del Río una. (Imagen 4 y 5).

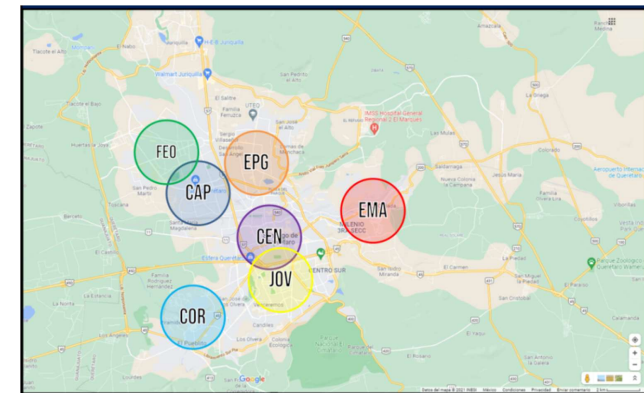


Imagen 4. Ubicación de estaciones de monitoreo de calidad del aire en la ZMQ.



Imagen 5. Ubicación de la estación de monitoreo de calidad del aire en San Juan del Río.

La ubicación exacta de cada estación de monitoreo de calidad del aire se indica en la tabla 1.

Tabla 1. Ubicación de estaciones de monitoreo del SMCAQ.

Estación	Clave	Ubicación	Coordenadas	
			Latitud	Longitud
Carrillo Puerto	CAP	Centro cultural comunitario Felipe Carrillo Puerto, Alfonso Reyes NO. 500, Col. Plutarco Elías Calles, Querétaro, Qro.	20°36'38.15"N	100°26'15.35"O
Centro	CEN	Heroico Cuerpo de Bomberos Voluntarios, Estación #1, Calle Ignacio Zaragoza 90, Col. Centro, Santiago de Querétaro, Qro.	20°35'15.05"N	100°23'42.09"O
Corregidora	COR	Palacio y servicios municipales de Corregidora, Ex Hacienda el Cerrito No. 100. El Pueblito, Corregidora, Qro.	20°33'10.05"N	100°26'43.95"O
El Marqués	EMA	Antigua presidencia, calle Emiliano Zapata Ote. No. 27, Col El Cerrito, El Marqués, Qro.	20°36'21.14"N	100°19'56.25"O
Epigmenio González	EPG	Delegación Municipal Epigmenio González. Tlaloc No. 102, Col. Desarrollo San Pablo. Santiago de Querétaro, Qro.	20°37'38.48"N	100°24'30.89"O
Félix Osores	FEO	Estación de monitoreo Félix Osores. CECyTEQ campus 5, kiliwas s/n, Col. Cerrito Colorado, Querétaro, Qro.	20°38'9.82"N	100°27'49.94"O
Josefa Vergara	JOV	Delegación Municipal Josefa Vergara, Calle 21, No. 1000, Col. Lomas de Casa Blanca, Santiago de Querétaro, Qro.	20°33'57.11"N	100°23'21.07"O
San Juan del Río	SJR	UAQ Campus San Juan del Río, Av. Río Moctezuma 249, Z/O Secc8, San Cayetano, 76807 San Juan del Río, Qro.	20°23'21.06"N	99°58'25.01"O

Es importante mencionar que durante 2021 se mejoró la infraestructura del SMCAQ con la incorporación de tres estaciones nuevas: JOV, EPG y COR. Con las estaciones JOV y EPG se amplió la cobertura y la estación COR fue modernizada. Estas tres estaciones nuevas entraron en operación en el mes de julio. Por otro lado, la estación CEN a mediados del mes de mayo entró en mantenimiento mayor.

#### I.4 Parámetros medidos por estación

Los contaminantes criterio que medidos son:

- Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>),
- Monóxido de carbono (CO),
- Ozono (O<sub>3</sub>),
- Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>),
- Partículas menores a 10 micras (PM<sub>10</sub>) y
- Partículas menores a 2.5 micras (PM<sub>2.5</sub>).

En la tabla 2 se indican (✓) los parámetros que midió cada estación durante 2021.

Tabla 2. Parámetros de calidad del aire medidos por estación.

Estación	NO <sub>2</sub>	CO	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>
CAP	✓	✓	✓	✓		✓
CEN	✓	✓	✓	✓	✓	
COR	✓	✓	✓	✓	✓	
EMA	✓	✓	✓	✓	✓	
EPG	✓	✓	✓	✓	✓	
FEO	✓	✓	✓	✓	✓	
JOV	✓	✓	✓	✓	✓	
SJR	✓	✓	✓	✓	✓	

No se mide

Además de la medición de contaminantes, las estaciones cuentan con sensores para medición de variables meteorológicas como: velocidad de viento (VV), dirección de viento (DV), temperatura (TM), humedad relativa (HR), presión barométrica (PB), radiación solar (RS) y precipitación pluvial (PP). La estación SJR por el momento no cuenta con medición de meteorología y en la estación CAP el equipo de meteorología entró en operación a partir del mes de septiembre.

En la tabla 3 se indican los parámetros medidos en cada estación.

Tabla 3. Parámetros meteorológicos medidos en cada estación del SMCAQ.

Estación	Meteorología						
	VV	DV	TM	HR	PB	RS	PP
CAP	✓	✓	✓	✓	✓		✓
CEN	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
COR	✓	✓	✓	✓	✓		
EMA	✓	✓	✓	✓	✓		✓
EPG	✓	✓	✓	✓	✓		
FEO	✓	✓	✓	✓	✓		✓
JOV	✓	✓	✓	✓	✓		

■ No se mide

## I. Marco normativo del monitoreo de la calidad del aire

El SMCAQ opera conforme lo establecido en las Normas Oficiales Mexicanas, tanto la operación de estaciones de monitoreo y el análisis y validación de la información que se genera se realizan conforme a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-156-SEMARNAT-2012 establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire. Asimismo, el análisis y publicación de la información se realizan de acuerdo a la NOM-172-SEMARNAT-2019 lineamientos para la obtención y comunicación del Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud y a los lineamientos establecidos por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).

Además, en el presente informe se analizan los datos generados por contaminante y se determina el cumplimiento de las normas de salud ambiental que aplican para cada uno, las cuales establecen los límites máximos permisibles (LMP) de concentración para cada contaminante, así como la forma en la que se debe evaluar cada uno.

### I.1 NOM-172-SEMARNAT-2019. Lineamientos para la obtención y comunicación del Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud

Establece los lineamientos para la obtención y comunicación del Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud (ICARS), 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 (NO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), ozono (O<sub>3</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y material particulado (PM); los cuales 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 reportará el valor de la calidad de aire con base en cuál de los parámetros está en una peor calidad de aire. Es decir, si uno está en mala condición y los demás parámetros están en buena, se reportará la calidad de aire como “mala” para proteger la salud de la población, sobre todo de los grupos sensibles. Los rangos de cada parámetro y su calidad de aire se enlistan en la tabla 4.

Tabla 4. Rangos del Índice de Aire y Salud para cada contaminante criterio.

Calidad de aire	Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	Monóxido de carbono (CO)	Ozono (O <sub>3</sub> )		Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>
	PH (ppm)	PM8 (ppm)	PH (ppm)	PM8 (ppm)	PM24 (ppm)	PP12 (ug/m3)	PP12 (ug/m3)
Buena	0.107	8.75	0.051	0.051	0.008	50	25
Aceptable	>0.10-0.21	>8.75-11	>0.051-0.095	>0.051-0.070	>0.008-0.110	>50-75	>25-45
Mala	>0.21-0.23	>11-13.3	>0.095-0.135	>0.070-0.092	>0.110-0.165	>75-155	>45-79
Muy mala	>0.23-0.25	>13.3-15.5	>0.135-0.175	>0.092-0.114	>0.165-0.220	>155-235	>79-147
Extremadamente mala	>0.25	>15.50	>0.175	>0.114	>0.220	>235	>147

PM<sub>10</sub>= Partículas suspendidas menores a 10 micras  
 PH= promedio horario  
 PP12= promedio móvil ponderado de 12 horas  
 ppm= partes por millón

PM<sub>2.5</sub>= Partículas suspendidas menor a 2.5 micras  
 PM8= promedio móvil de 8 horas  
 PM24= promedio móvil de 24 horas

Fuente: NOM-172-SEMARNAT-2019.



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

Especifica las condiciones mínimas que deben ser observadas para el establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire. Esta Norma muestra 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.

### 1.3 Normas de Salud Ambiental

Como se mencionó anteriormente, las Normas de Salud Ambiental establecen los Límites Máximos Permisibles (LMP) de concentración de los contaminantes. En la siguiente tabla se muestra la NOM correspondiente a cada uno, así como los LMP y tiempos de exposición.

Tabla 5. Límites Máximos Permisibles de Normas de Salud Ambiental vigentes durante el 2021.

Contaminante	NOM vigente en 2021	LMP y tiempos de exposición
Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	NOM-023-SSA1-1993	0.210 ppm Promedio horario
Monóxido de carbono (CO)	NOM-021-SSA1-1993	11 ppm Promedio móvil de 8h
Ozono (O <sub>3</sub> )	NOM-020-SSA1-2014	0.095 ppm Promedio horario 0.070 ppm promedio móvil de 8h
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	NOM-022-SSA1-2019	0.040 ppm Promedio de 24 h máximo de 3 años. 0.075 ppm Promedio del percentil 99 de los máximos horarios diarios de 3 años.
Partículas menores a 2.5 micrómetros (PM <sub>2.5</sub> )	NOM-025-SSA1-2014	45 µg/m <sup>3</sup> Promedio de 24h 12 µg/m <sup>3</sup> Promedio anual
Partículas menores a 10 micrómetros (PM <sub>10</sub> )		75 µg/m <sup>3</sup> Promedio de 24 h 40 µg/m <sup>3</sup> Promedio anual

Es importante mencionar que en el mes de octubre del 2021 se publicaron las actualizaciones de las Normas de Salud Ambiental, las cuales entran en vigor en 2022. Las actualizaciones manejan LMP más estrictos, mismos que se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Actualización de las normas de Salud Ambiental que entraron en vigor en diciembre 2021.

Contaminante	NOM	Fecha de publicación (DOF)	Entrada en vigor	LMP y tiempo de exposición
Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	NOM-023-SSA1-2021	27/10/2021	26/12/2021	0.106 ppm Promedio horario 0.021 ppm Promedio anual
Monóxido de carbono (CO)	NOM-021-SSA1-2021	29/10/2021	28/12/2021	26 ppm Promedio horario 9 ppm Promedio móvil 8h
Ozono (O <sub>3</sub> )	NOM-020-SSA1-2021	28/10/2021	27/12/2021	0.090 ppm Promedio horario 0.065 ppm Promedio móvil de 8h (1° año) 0.060 ppm Promedio móvil de 8h (3° año) 0.051 ppm promedio móvil de 8h (5° año)
Partículas menores a 2.5 micrómetros (PM <sub>2.5</sub> )	NOM-025-SSA1-2021	27/10/2021	26/12/2021	Promedio 24h: <ul style="list-style-type: none"> <li>41 µg/m<sup>3</sup> (1° año)</li> <li>33 µg/m<sup>3</sup> (3° año)</li> <li>25 µg/m<sup>3</sup> (5° año)</li> </ul> Promedio anual: <ul style="list-style-type: none"> <li>10 µg/m<sup>3</sup> (1° año)</li> <li>10 µg/m<sup>3</sup> (3° año)</li> <li>10 µg/m<sup>3</sup> (5° año)</li> </ul>
Partículas menores a 10 micrómetros (PM <sub>10</sub> )				Promedio 24h: <ul style="list-style-type: none"> <li>70 µg/m<sup>3</sup> (1° año)</li> <li>60 µg/m<sup>3</sup> (3° año)</li> <li>50 µg/m<sup>3</sup> (5° año)</li> </ul> Promedio anual: <ul style="list-style-type: none"> <li>36 µg/m<sup>3</sup> (1° año)</li> <li>28 µg/m<sup>3</sup> (3° año)</li> <li>20 µg/m<sup>3</sup> (5° año)</li> </ul>



## II. Contaminantes criterio

De acuerdo con la NOM-172-SEMARNAT-2019, los contaminantes criterio son aquellos a los que se les ha establecido un Límite Máximo Permissible 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 (O<sub>3</sub>)
- Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)
- Monóxido de carbono (CO)
- Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)
- Partículas en suspensión (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>)

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

### Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)

Es un gas de color rojizo con un olor penetrante e irritante. La importancia en la medición de los niveles de este gas es, además de los indeseables efectos en la salud, sobre todo en grupos sensibles (niños, personas de la tercera edad, mujeres embarazadas y personas con enfermedades cardiorrespiratorias), es ser el precursor principal de la formación de ozono troposférico, que es aún más dañino para los seres vivos. Su origen y efectos están resumidos en la siguiente tabla, así como la Norma Oficial Mexicana (NOM) que lo rige hasta el año 2021.

Tabla 7. Información general sobre el NO<sub>2</sub>.

Origen	Efectos en la salud	Otros efectos	Norma
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tormentas eléctricas</li> <li>• Motores de vehículos automotores.</li> <li>• Combustibles fósiles.</li> <li>• Oxidación de amoniacos.</li> <li>• Descomposición de fertilizantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de resistencia a enfermedades.</li> <li>• Afectaciones respiratorias en personas sensibles.</li> <li>• Irritabilidad en ojos y mucosas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lluvia ácida.</li> <li>• Formación de ozono.</li> <li>• Smog fotoquímico.</li> </ul>	NOM-023-SSA1-1993
<p>Junto con el NO forman el grupo llamado "NOx" que es el grupo grande de óxidos de nitrógeno. Sin embargo, el NO<sub>2</sub> es el que se utiliza como indicador.</p>			

Fuente: Sánchez-Salinas et al., 2014.

### Monóxido de carbono (CO)

Es un gas inodoro e incoloro. Proviene de actividades antropogénicas esenciales, como la quema de combustibles para producir energía y de escapes de vehículos automotores. Por ello, cuando hay más actividad humana, sobre todo un mayor tráfico, es cuando los niveles de CO aumentan. Debido a que tiene efectos indeseables en el transporte de oxígeno en la sangre, es de importancia su monitoreo para que sus niveles se mantengan siempre aceptables para la población. El resumen se observa en la tabla 8.

Tabla 8. Información general sobre el CO.

Origen	Efectos en la salud	Otros efectos	Norma
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incendios urbanos y forestales.</li> <li>• Quema de combustibles fósiles.</li> <li>• Descomposición de materia orgánica.</li> <li>• Oxidación del metano</li> <li>• Fotosíntesis.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hipoxia.</li> <li>• Somnolencia.</li> <li>• Afectaciones en el sistema nervioso.</li> <li>• Afectaciones cardiacas.</li> </ul>	Es poco reactivo, por lo que no representa otro peligro adicional.	NOM-021-SSA1-1993
<p>Es un gas presente naturalmente en la atmósfera, sin embargo, dos terceras partes del CO que hay en la atmósfera, provienen de actividades humanas.</p>			

Fuente: SEMARNAT, 2013.

### Ozono (O<sub>3</sub>)

El ozono es un gas incoloro formado por tres átomos de oxígeno que existe a nivel de la superficie de la tierra (ozono troposférico) y a nivel estratosférico (ozono estratosférico). El ozono troposférico se refiere también como ozono "malo" y el estratosférico como ozono "bueno", ya que nos protege de la radiación UV. El ozono "malo" es un contaminante secundario, es decir, no se emite como tal, sino que se forma a partir de otros contaminantes presentes, específicamente los óxidos de nitrógeno (NOx) y compuestos orgánicos volátiles (COV), en presencia de luz del sol. El ozono es uno de los principales componentes del smog. Por sus efectos a la salud de organismos (animales y vegetales) y ecosistemas, el ozono es considerado un índice criterio de la calidad del aire.

Tabla 9. Información general sobre el O<sub>3</sub>.

Origen	Efectos en la salud	Otros efectos	Norma
<ul style="list-style-type: none"> <li>El ozono malo (troposférico) proviene de la reacción de NO<sub>x</sub> y COV's con oxígeno y luz solar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Afectación al sistema respiratorio (tos, irritabilidad en garganta, dolor de pecho).</li> <li>Afectación al sistema cardiovascular.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reducción de fotosíntesis.</li> <li>Daños en plásticos, telas, caucho, etc.</li> <li>Smog fotoquímico.</li> </ul>	NOM-020-SSA1-2014
Es utilizado como purificador de agua y en algunos usos industriales debido a su poder oxidativo, pero no es emitido a la atmósfera de forma directa, ya que se descompone rápidamente.			

Fuente: Sánchez-Salinas et al., 2014.

### Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)

El dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) es un gas incoloro e irritante contaminante del aire. Además del dióxido de azufre, el aire ambiental puede estar contaminado con otros óxidos de azufre, trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>) por ejemplo, pero el SO<sub>2</sub> es el componente mayoritario y por lo tanto es la especie química que se usa como indicador. El SO<sub>2</sub> no es inflamable, ni explosivo, es muy soluble en agua y es más denso que el aire ambiental. Un resumen sobre este gas puede observarse en la tabla 10.

 Tabla 10. Información general sobre el SO<sub>2</sub>.

Origen	Efectos en la salud	Otros efectos	Norma
<ul style="list-style-type: none"> <li>Industria carboeléctrica.</li> <li>Industria del azufre.</li> <li>Quema de combustibles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inflamación de mucosas y afectación de las vías respiratorias.</li> <li>Complicaciones en personas con asma o EPOC.</li> </ul>	Lluvia ácida	NOM-022-SSA1-2019
Este gas forma los SO <sub>x</sub> junto con el trióxido de azufre, precursores de la lluvia ácida.			

Fuente: SEMARNAT, 2013.

### Material particulado (PM)

El material particulado (MP o PM) contaminante del aire incluye una mezcla compleja de una gran variedad de pequeñas partículas de sólidos, líquidos o sólidos y líquidos, tanto orgánicos como inorgánicos, naturales y antropogénicos, de composición variable suspendidos en el aire. El material particulado se emite directamente (material particulado primario) o se forma en la atmósfera a través de conversiones de gas a sólido (material particulado secundario). Algunas de esas partículas son lo suficientemente grandes y coloridas (generalmente negruzcas) para observarlas a simple vista, pero otras son tan pequeñas que sólo pueden observarse a través de un microscopio. En general, el material particulado tiene una composición diversa. Se ha encontrado que su composición puede incluir nitratos, sulfatos, metales, carbón, compuestos orgánicos y compuestos biológicos. El origen del material particulado es muy variado e incluye procesos de combustión de material combustible sólido y líquido, entre muchos otros. Sus principales características se observan en la tabla 11.

Tabla 11. Información general sobre el PM.

Origen	Efectos en la salud	Otros efectos	Norma
<ul style="list-style-type: none"> <li>Procesos de combustión.</li> <li>Tráfico vehicular.</li> <li>Actividades agrícolas e industriales.</li> <li>Tolvaneras.</li> <li>Actividad biológica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Obstrucción de vías respiratorias y cardiovasculares.</li> <li>Muerte prematura.</li> </ul>	Económicos	NOM-025-SSA1-2014
No todas las partículas permanecen el mismo tiempo en la atmósfera tras su emisión o formación en ella, sino que son eliminadas por deposición seca o húmeda en distintos tiempos dependiendo sus características.			

Fuente: Sánchez-Salinas et al., 2014.

En México, el material particulado se divide en dos por normatividad: material particulado menor a 10 micras (PM<sub>10</sub>) y material particulado menor a 2.5 micras (PM<sub>2.5</sub>). Las partículas menores a 2.5 micras están incluidas dentro de las menores a 10 micras, por lo cual su concentración siempre será menor.

Esta diferencia de tamaños hace que tengan diferentes efectos en la salud, sobre todo en el aparato respiratorio. Las PM<sub>10</sub> llamadas “fracción inhalable o torácica” pueden penetrar en el aparato respiratorio y acumularse. Las PM<sub>2.5</sub> llamadas “fracción alveolar” son retenidas en las vías respiratorias superiores, causando efectos respiratorios, circulatorios y mutagénicos graves (Sánchez-Salinas et al., 2014). Los efectos causados por el tamaño de partícula son mostrados en la imagen 6.

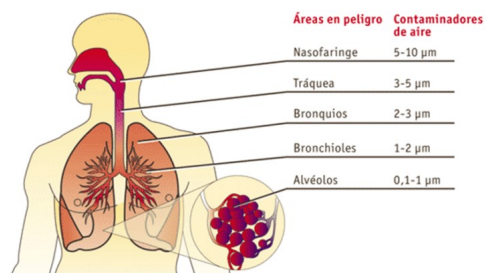


Imagen 6. Penetración del material particulado según su tamaño (Biosait, 2019).

### III. Análisis de comportamiento por contaminante

El análisis para cada contaminante medido en las estaciones de monitoreo del SMCAQ se presenta de varias formas conforme a lo establecido en la normatividad vigente. Primero se analiza el porcentaje de datos válidos por trimestre, el cual debe ser al menos del 75%. Después se muestra la tabla con el resumen estadístico de los datos registrados, además del comportamiento de contaminantes en diferentes períodos de tiempo: horario, semanal y mensual. También se incluye el porcentaje de horas por condición de calidad del aire reportada en el Índice de Calidad de Aire y Riesgos a la Salud (ICARS). Por último, se evalúa el cumplimiento de las Normas de Salud Ambiental, con base en los límites máximos permisibles (LMP), que marca cada una para los diferentes contaminantes.

### IV.1 Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)

Durante el 2021, el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) fue medido en todos los sitios de monitoreo. Las estaciones de EPG y JOV comenzaron a generar información en julio, por lo que los dos primeros trimestres no se presentan datos de estas estaciones; sin embargo, durante el semestre de operación de ambas estaciones se tuvo porcentajes por encima del 80%, por lo que se espera un año con completación de datos buena en 2022. La estación COR, por estar en el mismo sitio de monitoreo que la anterior estación, sus datos se contabilizaron juntos, por lo que alcanzó el porcentaje mínimo de completación.

Las estaciones EMA y CEN tuvieron equipos en mantenimiento, el equipo de EMA de NO<sub>2</sub> estuvo en mantenimiento mayor hasta el mes de junio, por lo que su porcentaje de completación fue bajo. Sin embargo, los últimos dos trimestres tuvieron porcentajes por encima del 85%, mostrando buen funcionamiento. Para la estación CEN el equipo de NO<sub>2</sub> entró en mantenimiento mayor y estuvo fuera de operación a partir de mayo.

En la tabla 12 se muestra el porcentaje de datos válidos trimestral y anual. Observando que las estaciones que cumplieron con al menos el 75% de datos válidos anual para el NO<sub>2</sub> fueron: CAP, COR, FEO y SJR.

Tabla 12. Completación de datos trimestral por estación, en porcentaje, para NO<sub>2</sub>.

Trimestre	CAP	CEN	COR	EMA	EPG	FEO	JOV	SJR
	% Porcentaje							
Ene-Mar	96.9	73.8	96.6			60.9		98.2
Abr-Jun	99.4	25.8	67.0	18.0		98.3		99.0
Jul-Sep	99.0		99.5	95.8	99.3	96.8	81.3	96.7
Oct-Dic	99.3		99.9	88.2	98.9	98.2	99.9	99.3
<b>Anual</b>	<b>98.7</b>	<b>NA</b>	<b>90.8</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>88.7</b>	<b>NA</b>	<b>98.3</b>

Equipo en mantenimiento      Sin equipo      NA No aplica

Continuando con el análisis estadístico de los datos, en la tabla 13 se muestran los principales parámetros. En la Zona Metropolitana de Querétaro, la estación con el promedio más alto fue CEN, siendo significativamente distinta a las demás. Sin embargo, debido a que sólo operó durante los primeros cuatro meses del año, donde los promedios fueron más altos en general, se considera un dato sesgado. Para las demás estaciones, el promedio más alto fue registrado en CAP con 0.013 ppm, mientras que el más bajo fue en EMA, con 0.007 ppm. El máximo horario fue en CEN con 0.169 ppm. En SJR el promedio fue de 0.008 ppm con un máximo de 0.052 ppm (comparables con la estación FEO en la Zona Metropolitana de Querétaro).

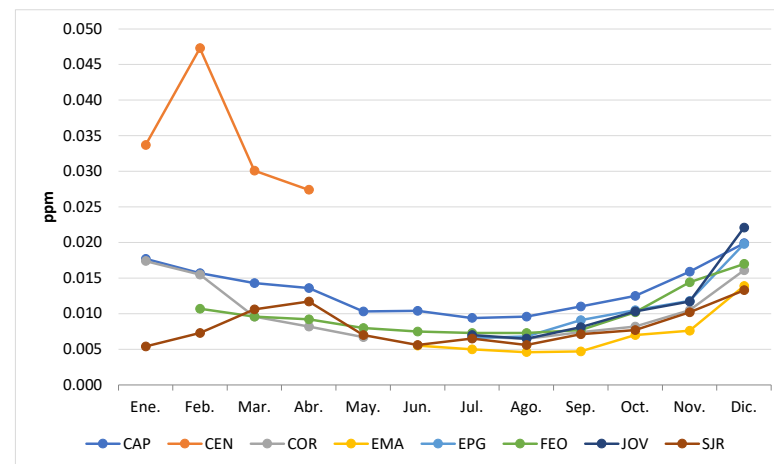
Tabla 13. Resumen estadístico del NO<sub>2</sub> en el Estado de Querétaro.

Estación	Concentración en ppm			
	Media	Mediana	Máximo horario	Mínimo horario
CAP	0.013	0.010	0.074	0.0030
CEN	0.033	0.029	0.169	0.0022
COR	0.010	0.007	0.080	0.0003
EMA	0.007	0.004	0.061	0.0005
EPG	0.010	0.007	0.077	0.0004
FEO	0.009	0.008	0.057	0.0021
JOV	0.011	0.007	0.083	0.0006
SJR	0.008	0.005	0.052	0.0006

En cuanto al comportamiento mensual del NO<sub>2</sub> se obtuvo la gráfica 1, donde se resumen los promedios mensuales por estación para este contaminante criterio. En la Zona Metropolitana de Querétaro, el promedio tuvo un comportamiento en forma de “U” donde los valores más altos se ubicaron en los meses más fríos del año: enero, febrero, noviembre y diciembre. Estos meses son destacados por la frecuencia con la que se presenta el fenómeno atmosférico llamado “inversión térmica”, que, provoca el incremento de la concentración de los contaminantes en la atmósfera baja debido a que existe poca dispersión, hecho que se observa durante las primeras horas del día, siendo una de las causas de concentración de contaminantes.

Por otro lado, los meses de concentración más baja fueron aquellos donde se registró mayor porcentaje de humedad relativa: entre junio y septiembre, debido a que la lluvia disminuye la concentración de los contaminantes ya que arrastra parte de estos y otra parte se dispersa debido a los vientos e inestabilidad atmosférica que trae consigo.

En el municipio de San Juan del Río, por otro lado, los meses con más alta concentración fueron marzo, abril, noviembre y diciembre. Marzo y abril debido a que cerca de la ciudad se presentaron incendios que aumentaron dramáticamente la concentración en esos meses, influenciados por una fuerte sequía y estabilidad atmosférica (poco viento). En noviembre y diciembre, como se mencionó, al ser una temporada fría, aumentan los niveles de concentración de contaminantes.

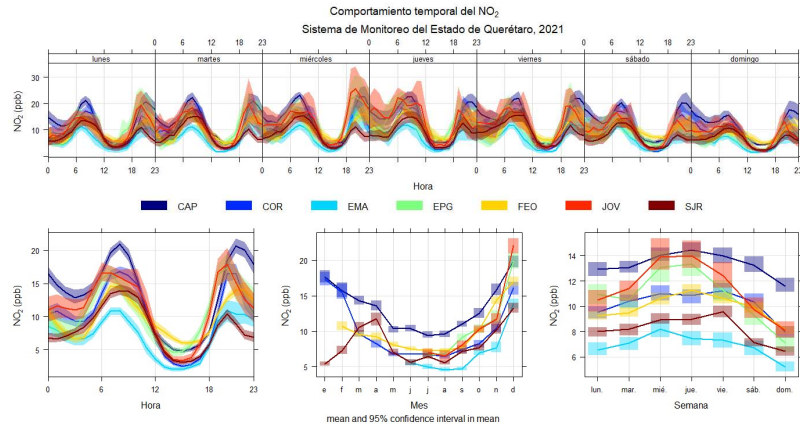


Gráfica 1. Comportamiento mensual del NO<sub>2</sub> en las estaciones del SMCAQ.

Sobre el comportamiento temporal del contaminante, en la gráfica 2 se muestra su perfil. No se incluyó a la estación CEN debido a que estuvo en funcionamiento solo cuatro meses. En cuanto al comportamiento por día de la semana, se observó un comportamiento general que no cambia demasiado en sus concentraciones, excepto entre el miércoles y jueves, donde los picos vespertinos suelen ser de mayor intensidad que en el resto de la semana.

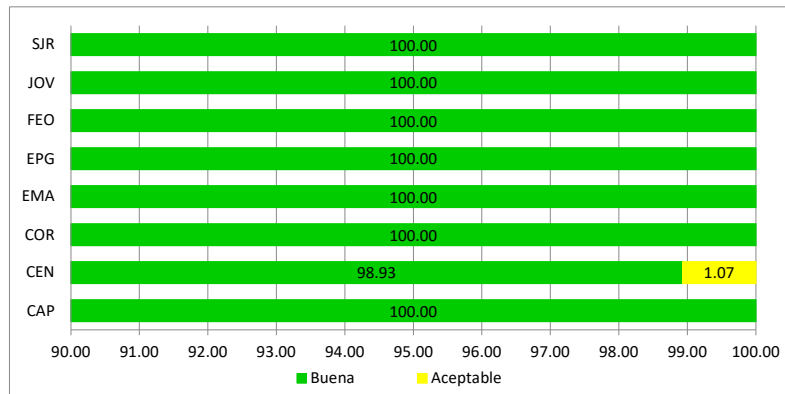
El día de la semana con una mayor concentración promedio de NO<sub>2</sub> fueron los miércoles y jueves, influenciados por una mayor actividad vehicular, que es la principal fuente de emisión de este contaminante. En San Juan del Río, los días con mayor concentración promedio fueron los viernes.

En cuanto al perfil horario, en la Zona Metropolitana de Querétaro, se tienen dos picos marcados: uno entre las 7 y 9 de la mañana y otro entre las 7 y 9 de la noche. Ambos con la misma intensidad, notando que coinciden con las horas de mayor afluencia vehicular. En San Juan del Río, se mostraron los picos en las mismas horas, sólo que el pico matutino fue de mayor intensidad que el vespertino, denotando de esta manera que su mayor carga de vehículos ocurrió durante las mañanas.



Gráfica 2. Perfil de comportamiento temporal del NO<sub>2</sub> en las estaciones del SMCAQ.

En cuanto al análisis del ICARS, es mostrado en la gráfica 3. Como se observa, en la Zona Metropolitana de Querétaro, sólo la estación CEN registró algunas horas en calidad aceptable. Las demás estaciones del SMCAQ tuvieron calidad buena durante todo el año, incluyendo la estación ubicada en San Juan del Río, siendo por tanto un contaminante que no registra datos que puedan causar problemas a la salud de la población del Estado de Querétaro.



Gráfica 3. Índice de Aire y Salud del NO<sub>2</sub> en las estaciones del SMCAQ.

El panorama anual de dióxido de nitrógeno en las imágenes 7 y 8 se muestra la condición de calidad del aire ICARS respecto a este contaminante para cada día, considerando que si al menos una hora del día se presenta la condición se toma para todo el día. Para la Zona Metropolitana de Querétaro, se tuvieron en total 11 días con al menos una hora con calidad aceptable de aire. El mes de febrero es el que registro la mayor cantidad de días con calidad del aire aceptable con un total de 7 días y los meses de enero y febrero registraron solo un día con calidad del aire aceptable, los meses de abril a diciembre tuvieron buena calidad del aire.

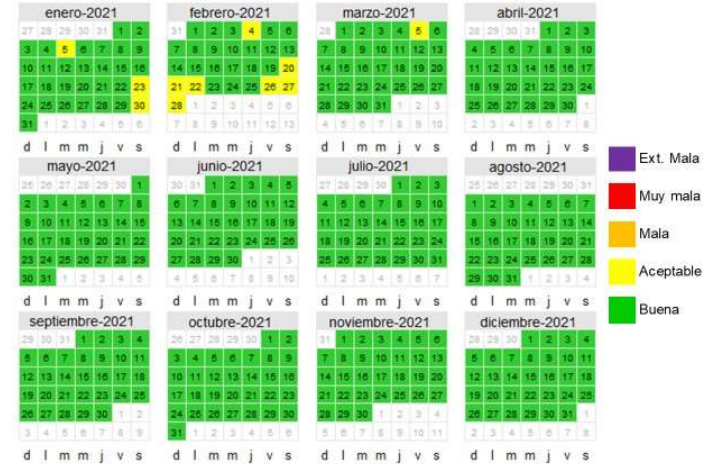


Imagen 7. Calidad del aire del NO<sub>2</sub> en la Zona Metropolitana de Querétaro.

Para San Juan del Río se tuvieron mediciones en cada uno de los días del año, donde la calidad de aire fue buena en su totalidad.



Imagen 8. Calidad del aire del NO<sub>2</sub> en San Juan del Río.

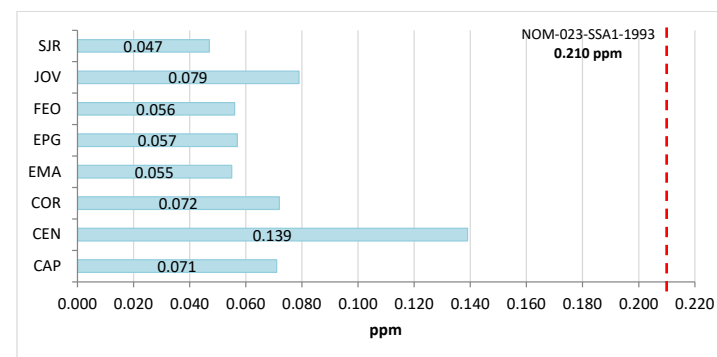
Finalmente, en cuanto al cumplimiento normativo, la NOM-023-SSA1-1993 marca que para que una estación cumpla con esta Norma, debe de tener al menos el 75% de los datos en un año como primer parámetro. Las estaciones que cumplieron con este parámetro son: CAP, COR, FEO y SJR. Asimismo, se destacan los casos de las nuevas estaciones, que no cumplieron debido a que comenzaron a generar información a partir del mes de julio con buenos porcentajes de completación, por lo que, aunque no se pudieron evaluar conforme a la NOM en 2021, se espera evaluarlas en 2022, así como la estación CEN.

De las estaciones que se pueden evaluar, la NOM solicita el cumplimiento del segundo máximo, que significa que este valor esté por debajo del LMP que está establecido en 0.210 ppm. La tabla 14 muestra el cumplimiento por estación.

Tabla 14. Cumplimiento de la NOM-023-SSA1-1993 por estación.

Estación	Segundo máximo (ppm)	¿Cumple con la NOM-023-SSA-1993?
CAP	0.071	✓
COR	0.072	✓
FEO	0.056	✓
SJR	0.047	✓

El segundo máximo, que es el parámetro importante en cuanto a la concentración en la NOM, fue graficado para todos los sitios de monitoreo en la gráfica 4. Aunque no todos cumplieron con el porcentaje de completación, cabe destacar que ninguno superó el LMP normado, que es 0.210 ppm, siendo el máximo 0.139 ppm registrado en la estación CEN. En San Juan del Río el valor quedó aún más por debajo, 0.047 ppm, por lo que esa ciudad cumplió con la NOM-023-SSA1-1993 en el año 2021, al igual que la Zona Metropolitana de Querétaro.



Gráfica 4. Segundo promedio horario máximo de NO<sub>2</sub>.

#### IV.2 Análisis del monóxido de carbono (CO)

Respecto al porcentaje de completación de datos, de tener al menos el 75% anual de datos válidos, en la tabla 15 se observa el porcentaje obtenido por trimestre y el anual. Las estaciones nuevas EPG y JOV y la estación CEN no operaron todo el año por estar en mantenimiento mayor por lo que no se obtuvo el porcentaje anual. El resto de las estaciones cumplieron con el porcentaje establecido.

Tabla 15. Compleción trimestral de datos por estación, en porcentaje, para CO.

Trimestre	CAP	CEN	COR	EMA	EPG	FEO	JOV	SJR
	Porcentaje %							
Ene-Mar	98.7	95.4	90.0	42.4		60.1		94.1
Abr-Jun	94.3	31.4	68.1	68.4		97.5		97.8
Jul-Sep	99.4		95.3	94.1	97.5	94.2	98.5	97.7
Oct-Dic	96.0		96.8	98.1	99.4	99.5	99.9	95.0
<b>Anual</b>	<b>97.1</b>	<b>NA</b>	<b>87.6</b>	<b>75.9</b>	<b>NA</b>	<b>87.9</b>	<b>NA</b>	<b>96.2</b>

Equipo en mantenimiento Sin equipo NA No aplica

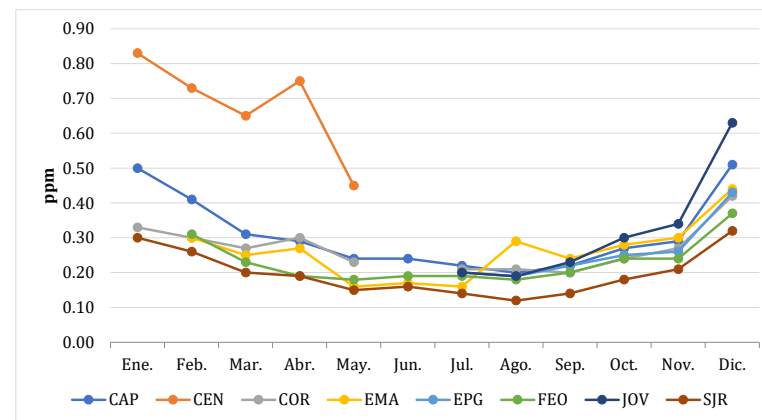


En la tabla 16 se muestra el resumen de los datos horarios para monóxido de carbono por estación. En esta ocasión se incluye el promedio móvil de 8 horas para evaluar la calidad de acuerdo con el ICARS, así como en la Norma que lo rige (NOM-021-SSA1-1993). Los datos más altos fueron registrados en la estación CEN. Sin embargo, como se mencionó, debido a que solo se cuenta con datos de cuatro meses, no se incluyen en el análisis de promedio. Por lo tanto, el promedio más alto se registró en JOV, con 0.32 ppm, aunque no hubo diferencia significativa entre los promedios de las estaciones. El máximo horario correspondió a CEN con 4.89 ppm, así como el máximo promedio móvil de 8 horas con 2.73 ppm. En San Juan del Río, se obtuvo un promedio de 0.20 ppm, con un máximo horario de 3.18 ppm y un máximo promedio móvil de 8 horas de 1.22 ppm.

Tabla 16. Resumen estadístico del CO por estación.

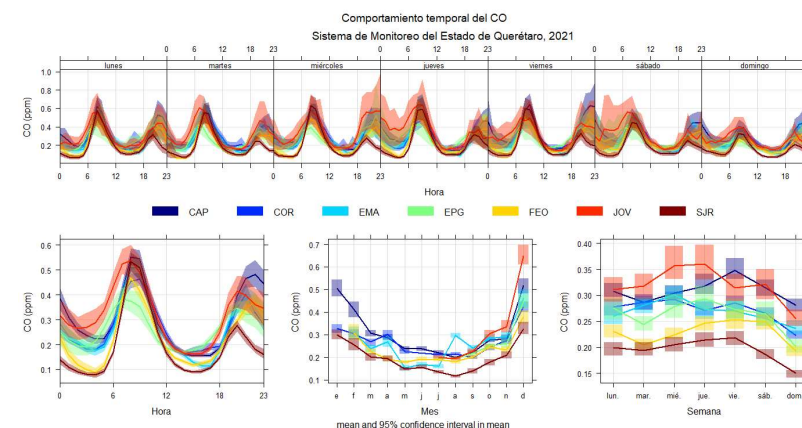
Estación	Concentración en ppm					
	Media	Mediana	Máx. 1 h	Mín. 1 h	Máx. 8 h	Mín. 8 h
CAP	0.31	0.21	4.87	0.10	2.41	0.11
CEN	0.74	0.58	4.89	0.06	2.73	0.13
COR	0.27	0.21	2.04	0.02	1.09	0.04
EMA	0.27	0.20	2.66	0.02	1.79	0.03
EPG	0.26	0.19	3.31	0.10	2.41	0.11
FEO	0.23	0.18	3.29	0.02	1.75	0.04
JOV	0.32	0.20	3.52	0.10	2.36	0.10
SJR	0.20	0.13	3.18	0.01	1.22	0.02

El perfil mensual se observa en la gráfica 5, observando que la estación CEN presenta una media mensual superior al resto de las estaciones. Esto se asume a que la estación está ubicada en una avenida con alto flujo vehicular. El resto de las estaciones muestran una tendencia similar, siendo los meses de frío los que tuvieron la mayor media: enero, febrero, noviembre y diciembre, debido a los fenómenos meteorológicos que se presentan en esas épocas. JOV tuvo la mayor media mensual en el mes de diciembre con un promedio sobre las 0.60 ppm. Por otro lado, los meses lluviosos tuvieron una media inferior, debido a que se tiene una mejor dispersión. En el municipio de San Juan del Río, las mayores medias ocurrieron en los meses fríos, con promedios superiores a 0.30 ppm mientras que en los meses lluviosos se llegó a una media mensual de 0.10 ppm. Estos niveles fueron inferiores a los de la Zona Metropolitana de Querétaro, probablemente debido a un menor tráfico vehicular.



Gráfica 5. Comportamiento mensual del CO por estación.

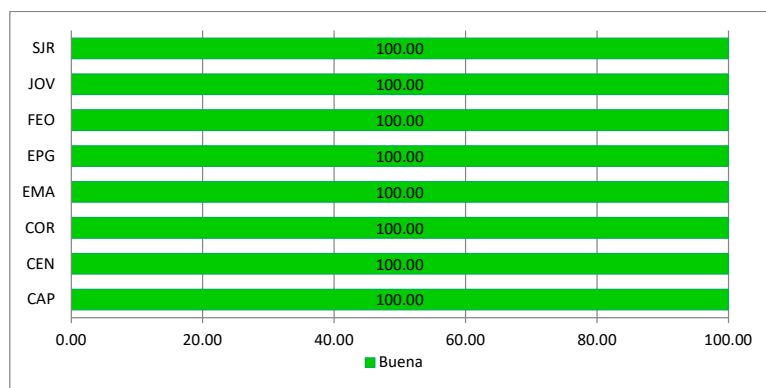
El perfil temporal del CO se muestra en la gráfica 6. El comportamiento por día de la semana muestra los miércoles y jueves con mayor concentración por las tardes para la Zona Metropolitana de Querétaro y los viernes para San Juan del Río. En cuanto al perfil horario, de manera similar al dióxido de nitrógeno, los picos de concentración ocurren entre las 7 a 9 horas y 19 a 21 horas.



Gráfica 6. Comportamiento temporal del CO por estación.



El análisis del ICARS en cada estación para el CO es mostrado en la gráfica 7, la calidad de aire se mantuvo la totalidad de las horas medidas (100%) en calidad "buena", siendo un contaminante que está presente normalmente en bajas concentraciones y no representa un peligro para la salud en el Estado de Querétaro.



Gráfica 7. Índice de Aire y Salud del CO en las estaciones del SMCAQ.

El comportamiento diario de calidad del aire por ciudad se muestra en las imágenes 9 y 10, donde se observa la condición de la calidad del aire para la Zona Metropolitana de Querétaro y San Juan del Río. Observando que para el monóxido de carbono (CO) en la totalidad de los días medidos para la Zona Metropolitana de Querétaro y San Juan del Río se tuvo calidad del aire buena.

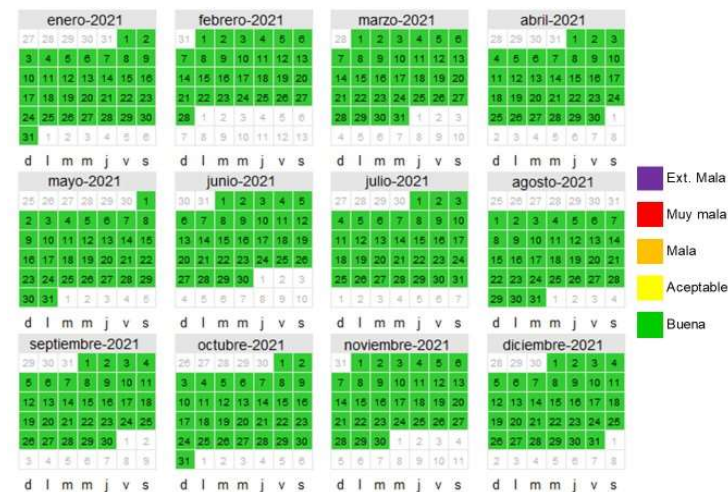


Imagen 9. Calidad del aire del CO en la Zona Metropolitana de Querétaro.

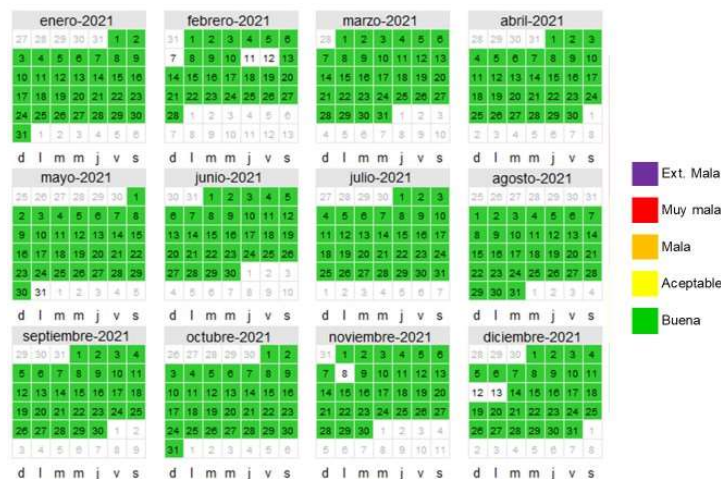


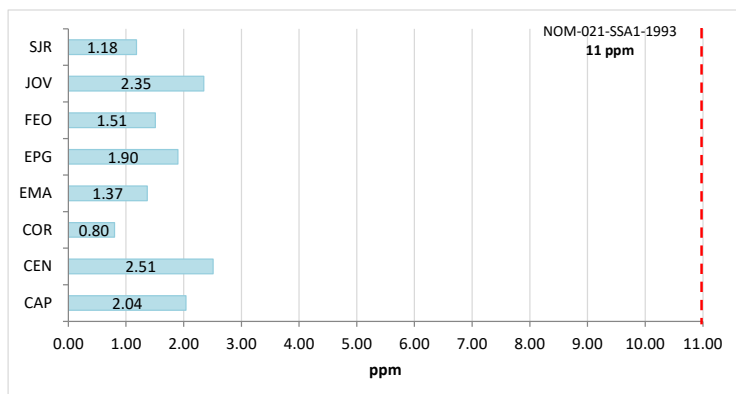
Imagen 10. Calidad del aire del CO en San Juan del Río.

Los resultados respecto al cumplimiento normativo de CO regido por la NOM-021-SSA1-1993, en la que se establecen los LMP para el cumplimiento de una calidad de aire aceptable que no ponga en riesgo a la población, se muestran en la tabla 17. Ahí se marca el cumplimiento con la Norma referida para las estaciones que tuvieron suficiencia de información para este contaminante.

Tabla 17. Cumplimiento de la NOM-021-SSA1-1993.

Estación	Segundo máximo (ppm)	¿Cumple con la NOM-021-SSA1-1993?
CAP	2.04	✓
COR	0.80	✓
EMA	1.37	✓
FEO	1.51	✓
SJR	1.18	✓

Conforme a lo establecido en la NOM-021-SSA1-1993, el monóxido de carbono “no debe de rebasar el límite máximo normado de 11.00 ppm en promedio móvil de 8 horas una vez al año”, por lo que se debe de calcular el segundo máximo para comprobar esto. El gráfico 8 muestra que ninguna de las estaciones del SMCAQ estuvo cerca de rebasar el LMP durante el año 2021.



Gráfica 8. Cumplimiento normativo de la NOM-021-SSA1-1993.

#### IV.4 Análisis del ozono (O<sub>3</sub>)

En la tabla 18 se muestra el porcentaje de datos válidos trimestral. Las estaciones que cumplieron con el mínimo de 75% de datos válidos para todo el año fueron: CAP, COR, EMA, FEO y SJR. Como ya se mencionó, las estaciones CEN, EPG y JOV no operaron todo el año, por lo que no se tuvo suficiente información. No obstante, EPG y JOV tuvieron porcentajes superiores al 80% de datos válidos durante su tiempo de funcionamiento que fue todo el segundo semestre.

Tabla 18. Porcentaje de completación de datos trimestral por estación de O<sub>3</sub>.

Trimestre	CAP	CEN	COR	EMA	EPG	FEO	JOV	SJR
	% porcentaje							
Ene-Mar	98.8	99.1	95.5	49.7		60.0		98.3
Abr-Jun	99.5	31.9	68.1	81.6		98.4		100.0
Jul-Sep	99.3		97.6	98.6	98.0	99.4	80.0	98.2
Oct-Dic	95.5		99.6	98.7	99.5	99.4	99.9	96.9
<b>Anual</b>	<b>98.2</b>	<b>NA</b>	<b>90.2</b>	<b>82.3</b>	<b>NA</b>	<b>89.4</b>	<b>NA</b>	<b>98.4</b>

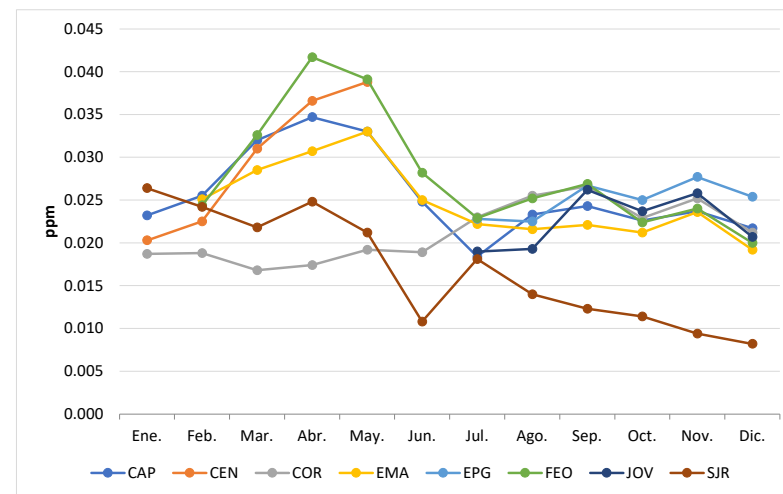
Equipo en mantenimiento   
  Sin equipo   
 **NA** No aplica

El resumen estadístico puede apreciarse en la tabla 19. El máximo horario y mínimo promedio se registraron en la estación COR con 0.090 ppm y 0.021 ppm respectivamente, mientras que el máximo promedio anual y máximo promedio de 8 horas fue de 0.028 ppm y 0.077 ppm, ambas en la estación FEO. Como se observa, la diferencia entre ambas no fue de más de 0.006 ppm, siendo no significativa, por lo que los niveles en la Zona Metropolitana de Querétaro se mantuvieron alrededor de 0.024 ppm de ozono promedio en el 2021. Para el caso del municipio de San Juan del Río se registró un máximo horario de 0.079 ppm y promedio móvil de 8 horas de 0.067 ppm, el promedio anual de ozono fue de 0.17 ppm.

Tabla 19. Resumen estadístico del ozono en las estaciones del SMCAQ.

Estación	Concentración en ppm					
	Media	Mediana	Máx. 1 h	Mín. 1 h	Máx. 8 h	Mín. 8 h
CAP	0.026	0.022	0.083	0.001	0.072	0.001
CEN	0.028	0.026	0.089	0.001	0.074	0.003
COR	0.021	0.019	0.090	0.001	0.067	0.002
EMA	0.024	0.022	0.082	0.001	0.070	0.001
EPG	0.025	0.022	0.084	0.002	0.069	0.003
FEO	0.028	0.026	0.089	0.001	0.077	0.002
JOV	0.023	0.021	0.076	0.002	0.062	0.003
SJR	0.017	0.014	0.079	0.002	0.067	0.003

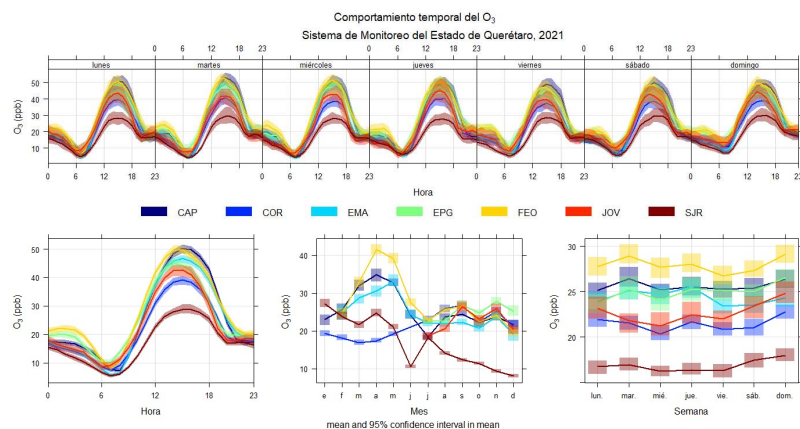
El perfil de promedios mensuales de O<sub>3</sub> se muestra en la gráfica 9. En la Zona Metropolitana de Querétaro los mayores promedios ocurrieron durante los meses más calurosos (marzo, abril y mayo). Esto debido al incremento de radiación solar incidente sobre la superficie terrestre, aunado a la poca o nula nubosidad presentada en esos meses. El resto del año se mantuvo en niveles de ozono similares para la Zona Metropolitana de Querétaro. En el caso de San Juan del Río su comportamiento mostró niveles menores a los registrados en la Zona Metropolitana de Querétaro.



Gráfica 9. Comportamiento mensual del O<sub>3</sub> en las estaciones del SMCAQ.

El comportamiento temporal anual se muestra en la gráfica 10. En cuanto al comportamiento por día, no hay diferencias significativas, aunque cada estación tuvo su día de más alta concentración, éstos no fueron significativamente distintos del resto de los días tanto en la Zona Metropolitana de Querétaro como en San Juan del Río.

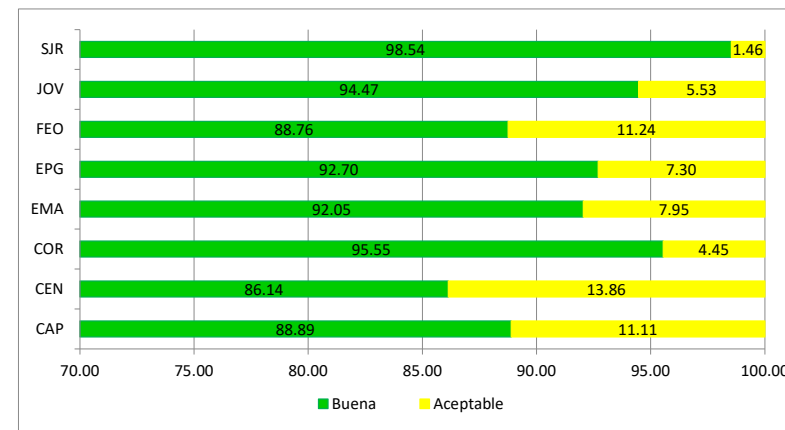
El perfil horario como se observa coincide para todas las estaciones sin importar su ubicación tanto en Zona Metropolitana de Querétaro y San Juan del Río, debido a que las horas con mayor radiación solar son las que tuvieron mayor concentración, que es entre las 13:00 y 17:00 horas, con su pico más alto aproximadamente a las 15:00 horas. Las concentraciones disminuyen significativamente durante la madrugada debido a que el ozono es un contaminante secundario y su formación se activa con la radiación solar, observando que la concentración más baja se alcanza aproximadamente a las 6:00 horas.



Gráfica 10. Comportamiento temporal del O<sub>3</sub> en las estaciones del SMCAQ.

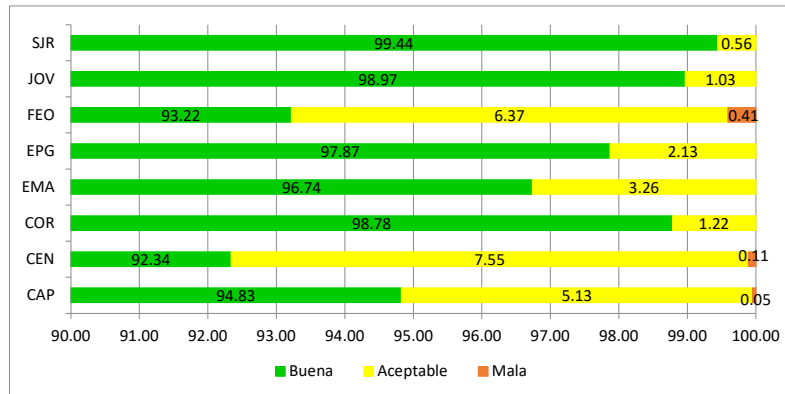
El ICARS para el ozono considera dos parámetros de evaluación de acuerdo con la NOM-172-SEMARNAT-2019, el promedio horario y el promedio móvil de 8 horas, por lo que el análisis se presenta para cada uno.

Para la Zona Metropolitana de Querétaro el promedio horario, durante el año se tuvo entre un 5.53% y 11.24% de horas con calidad aceptable de aire (amarillo) y el resto con calidad buena. En San Juan del Río el 1.46 % de sus horas se tuvo calidad aceptable y el 98.5 % de calidad buena. Es importante reiterar que para las estaciones JOV y EPG solo se tuvieron datos de los últimos seis meses del año y la estación CEN de los primeros cuatro meses.



Gráfica 11. Índice de Aire y Salud del O<sub>3</sub>, promedio horario.

Respecto al promedio móvil de 8 horas, este alcanzó calidad del aire mala en la Zona Metropolitana de Querétaro en tres estaciones: FEO, CEN y CAP, donde el mayor porcentaje registrado de 0.14% de horas fue para FEO. En cuanto a calidad de aire aceptable, el porcentaje más alto se registró en CEN con el 7.55% de horas. No obstante, en la Zona Metropolitana de Querétaro en más del 92 % de horas anuales se tuvo calidad del aire buena durante 2021. En cuanto a San Juan del Río, solamente el 0.56 % de las horas estuvo en calidad aceptable y el 99.44% de horas con calidad del aire buena. Gráfica 12.



Gráfica 12. Índice de Aire y Salud del O<sub>3</sub>, promedio móvil de 8 h.

El panorama anual para el promedio horario de ozono por zona se muestra en las imágenes 11 y 12. El criterio para determinar la condición diaria de calidad del aire es que con que una hora al día se tenga esa condición de calidad del aire, se toma el día completo. Considerando lo anterior, la Zona Metropolitana de Querétaro registró en total 255 días con al menos una hora en calidad del aire aceptable por el promedio horario de ozono y 110 días con calidad del aire buena. Abril fue el mes que tuvo mayor número de días con calidad del aire aceptable, registrando solo dos días con calidad del aire buena y julio es el mes que tuvo más días con calidad del aire buena con un total de 20 días.

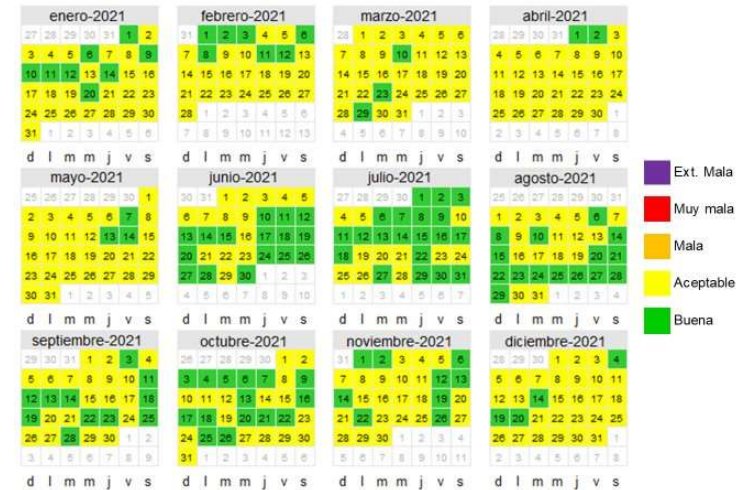


Imagen 11. Calidad del aire de O<sub>3</sub>, promedio horario, en Zona Metropolitana de Querétaro.

En San Juan del Río para el promedio horario de ozono, el panorama anual muestra que en 32 días se registró al menos una hora con calidad de aire aceptable y 333 días con calidad del aire buena. El mes de enero fue el de mayor cantidad de días con calidad del aire aceptable y los meses de junio a diciembre estuvieron con calidad del aire buena.



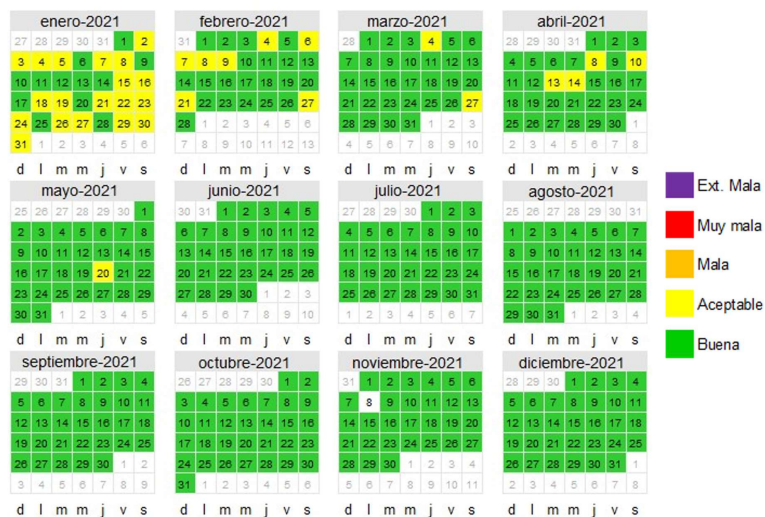


Imagen 12. Calidad del aire del O<sub>3</sub>, promedio horario, en San Juan del Río.

En las imágenes 13 y 14 se muestran los días en los que se registraron los promedios móviles de 8 horas de ozono. Es importante considerar que con una hora que se haya tenido la condición de calidad del aire, se toma el día completo con dicha condición presentada. Con este criterio, para la Zona Metropolitana de Querétaro, se tuvieron 216 días con calidad del aire buena, 132 días con al menos una hora con calidad del aire aceptable y 17 días con al menos una hora con calidad de aire mala. El mes de abril fue el que registró menor cantidad de días con calidad del aire buena con tan solo 3 días y el mayor número de días con calidad del aire mala con un total de 8 días. El mes de julio fue el que tuvo mayor cantidad de días con calidad del aire buena siendo un total de 29 días con calidad del aire buena y solo 2 días con calidad del aire aceptable.

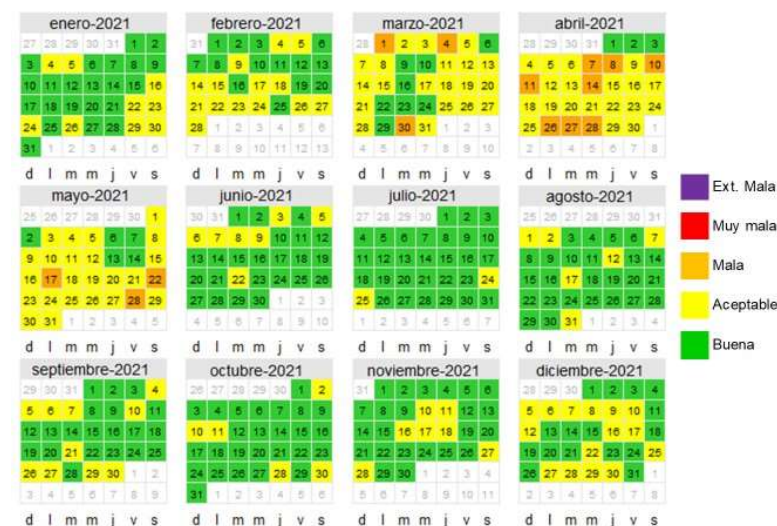


Imagen 13. Calidad del aire de O<sub>3</sub>, promedio móvil de 8 h, en Zona Metropolitana de Querétaro.

Para San Juan del Río en cuanto al comportamiento del promedio de 8 horas de ozono, sólo 13 días se registró al menos una hora en calidad aceptable y 352 días con calidad del aire buena. Solo en los meses de enero y febrero se tuvieron días con calidad del aire aceptable, siendo enero el que mayor cantidad de días con calidad del aire aceptable registró con un total de 11 días.

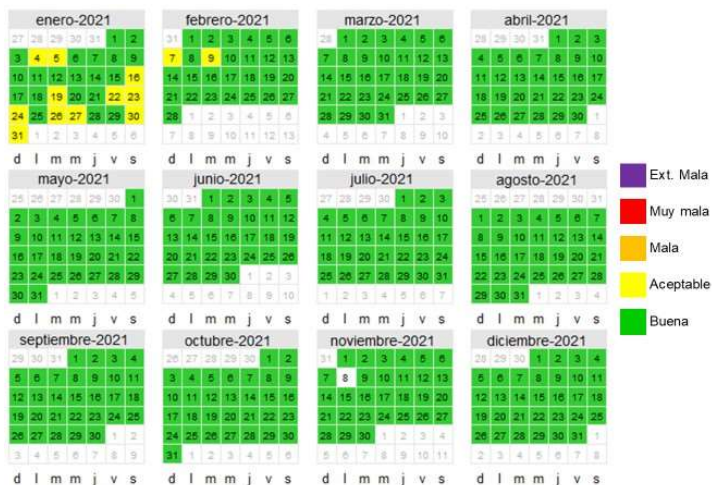


Imagen 14. Calidad del aire del O<sub>3</sub>, promedio móvil de 8 h, en San Juan del Río.

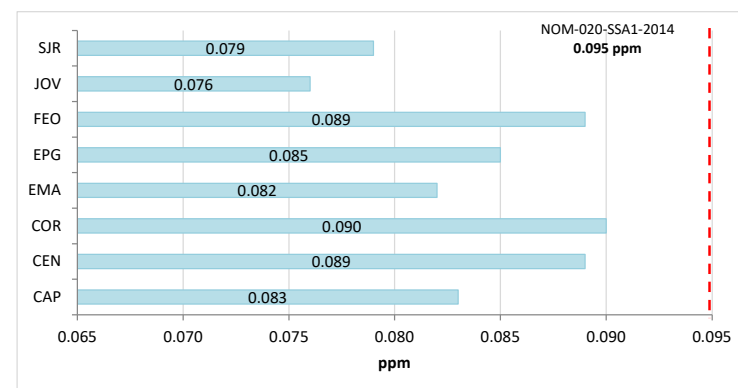
La NOM-020-SSA1-2014 de salud ambiental que establece los LMP de ozono a los que puede estar expuesta la población, especifica que un sitio debe de cumplir con 3 lineamientos para cumplir con la norma: 1) un porcentaje de completión de 75% de datos válidos horarios del año, 2) el máximo horario permitido debe de ser menor o igual a 0.095 ppm y 3) el máximo de 8 horas debe de ser menor o igual a 0.070 ppm. El incumplimiento en al menos uno de los tres lineamientos tiene como consecuencia que no cumpla con la Norma. En la tabla 20 se muestra el cumplimiento con la Norma referida para las estaciones que cumplieron con al menos el 75 % de datos válidos.

Tabla 20. Cumplimiento de la NOM-020-SSA1-2014.

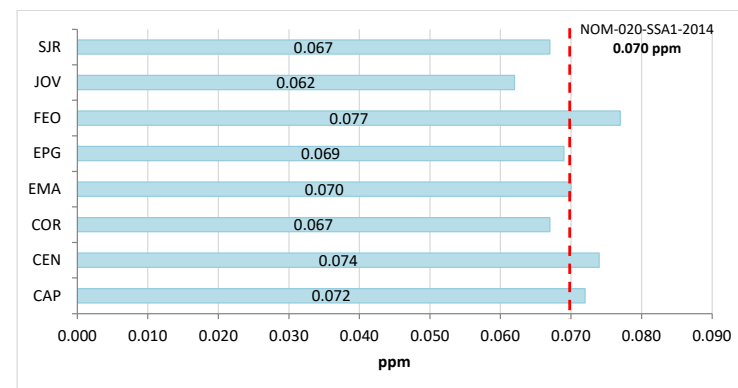
Estación	Máximo horario (ppm)	Máximo de 8 horas (ppm)	¿Cumple con la NOM-020-SSA1-2014?
CAP	0.083	0.072	✘
COR	0.090	0.067	✔
EMA	0.082	0.070	✔
FEO	0.089	0.077	✘
SJR	0.079	0.067	✔

En cuanto al número de días que estuvo fuera de los límites establecidos por la Norma, el promedio horario no se registró ningún día fuera del LMP, mientras que para promedio móvil de 8 horas fueron 12 días en la estación CAP y 3 días en la estación FEO durante 2021 en los que se rebasó el LMP.

En las gráficas 13 y 14 se muestra el cumplimiento normativo del promedio horario y de 8 horas de ozono. Como se mencionó, todas las estaciones cumplieron con el LMP del promedio horario mientras que tres superaron el LMP del promedio móvil de 8 horas: CAP, CEN y FEO.



Gráfica 13. Cumplimiento normativo de la NOM-020-SSA1-2014, promedio horario.



Gráfica 14. Cumplimiento normativo de la NOM-020-SSA1-2014, promedio móvil de 8 h.



#### IV.5 Análisis del dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)

En cuanto a la suficiencia de datos de dióxido de azufre en 2021, en la tabla 21 se observa el porcentaje obtenido por estación. Las estaciones CAP y SJR alcanzaron la suficiencia, mientras que el resto de las estaciones los analizadores de SO<sub>2</sub> estuvieron en mantenimiento correctivo por tiempos prolongados por lo que no todos alcanzaron el 75% de datos válidos durante el año, aunque en periodos trimestrales se tuvo suficiencia. No obstante, lo anterior, es de resaltar que en el último trimestre los equipos de SO<sub>2</sub> en todas las estaciones alcanzaron más del 95% de datos válidos.

Tabla 21. Porcentaje de completación de datos para SO<sub>2</sub>, en porcentaje.

Trimestre	CAP	CEN	COR	EMA	EPG	FEO	JOV	SJR
	% Porcentaje							
Ene-Mar	99.2	99.2	92.3	25.6		59.5		97.4
Abr-Jun	99.5	33.3	68.1	74.1		74.8		100.0
Jul-Sep	96.1		23.4	84.8	25.4	64.9	24.3	90.9
Oct-Dic	99.1		99.9	95.1	97.5	99.3	99.9	95.2
<b>Anual</b>	<b>98.4</b>	<b>NA</b>	<b>70.8</b>	<b>70.1</b>	<b>NA</b>	<b>74.7</b>	<b>NA</b>	<b>95.8</b>

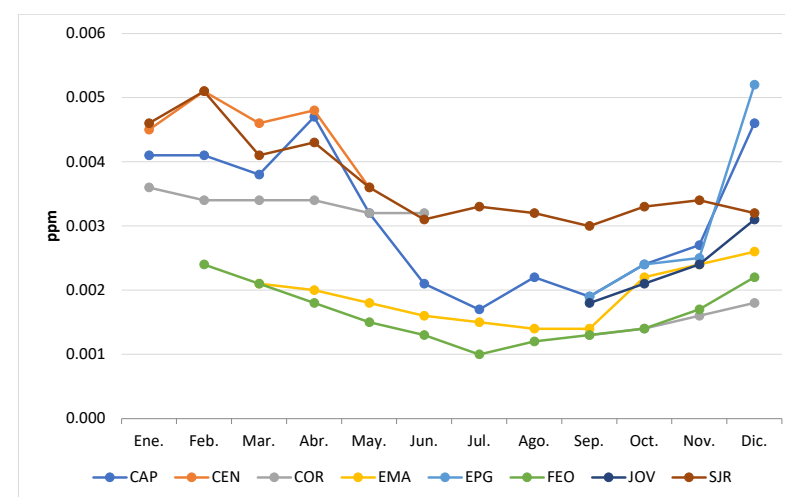
Equipo en mantenimiento Sin equipo NA No aplica

El resumen estadístico general se muestra en la tabla 22. En la Zona Metropolitana de Querétaro el máximo promedio registrado de SO<sub>2</sub> se presentó en EPG y CAP, la estación con menor promedio es FEO. El máximo promedio horario y máximo promedio móvil de 24 horas se registraron en la estación CAP. En San Juan del Río, el promedio anual fue de 0.004 ppm.

Tabla 22. Resumen estadístico del SO<sub>2</sub>.

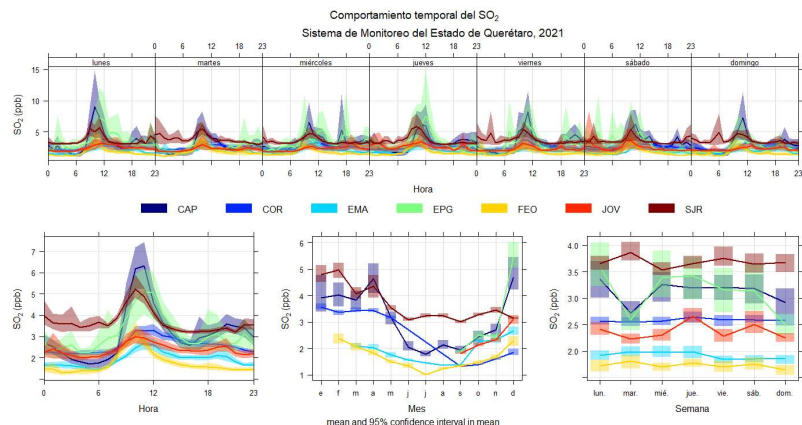
Estación	Concentración en ppm					
	Media	Mediana	Máx. 1 h	Mín. 1 h	Máx. 24 h	Mín. 24 h
CAP	0.003	0.002	0.146	0.0006	0.015	0.0008
CEN	0.005	0.004	0.130	0.0020	0.012	0.0029
COR	0.003	0.003	0.029	0.0011	0.005	0.0012
EMA	0.002	0.001	0.030	0.0014	0.006	0.0012
EPG	0.003	0.002	0.052	0.0014	0.014	0.0015
FEO	0.002	0.001	0.044	0.0009	0.006	0.0010
JOV	0.002	0.002	0.036	0.0016	0.008	0.0016
SJR	0.004	0.003	0.087	0.0023	0.012	0.0025

En la gráfica 15 se observa el comportamiento promedio mensual del SO<sub>2</sub>. Para las estaciones de la Zona Metropolitana de Querétaro, abril fue el mes que tuvo una mayor concentración de dióxido de azufre, seguido por los meses más fríos (diciembre, enero y febrero). En San Juan del Río se registró una consistente disminución de la contaminación durante el 2021, siendo los cuatro primeros meses del año los que contaron con valores más altos.



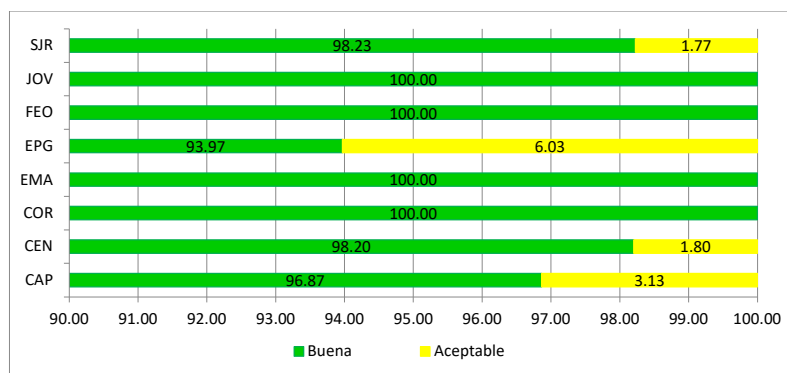
Gráfica 15. Comportamiento mensual del SO<sub>2</sub> en las estaciones del SMCAQ.

El perfil de comportamiento temporal de SO<sub>2</sub> se muestra en la gráfica 16. En el análisis diario los picos de concentración varían en cada estación. Sin embargo, de manera general los jueves se observa una mayor concentración promedio en la Zona Metropolitana de Querétaro mientras que en San Juan del Río, fueron los lunes. No obstante, en ambas zonas en el análisis del SO<sub>2</sub> por hora, se nota un pico entre las 10:00 y las 11:00 horas, teniendo las demás horas del día un comportamiento un tanto constante.



Gráfica 16. Perfil horario del comportamiento del SO<sub>2</sub> en las estaciones del SMAAQ.

El análisis del ICARS de SO<sub>2</sub> se muestra en la gráfica 17. Como se observa, sólo se tuvo calidad del aire buena y regular, siendo EPG la estación con mayor porcentaje de horas con calidad del aire aceptable para la Zona Metropolitana de Querétaro. San Juan del Río tuvo más del 98% de horas en calidad buena.



Gráfica 17. Índice de Aire y Salud del SO<sub>2</sub> en las estaciones del SMAAQ.

Las imágenes 15 y 16 muestran la calidad del aire para el dióxido de azufre en la Zona Metropolitana de Querétaro y San Juan del Río. Como se aprecia ambas zonas registraron calidad del aire buena y aceptable, no se tuvo ningún día con calidad del aire mala o superior. En la Zona Metropolitana de Querétaro 331 días se tuvo calidad del aire buena y 34 días con calidad del aire aceptable, siendo diciembre el mes que registró mayor cantidad de días con calidad del aire aceptable.

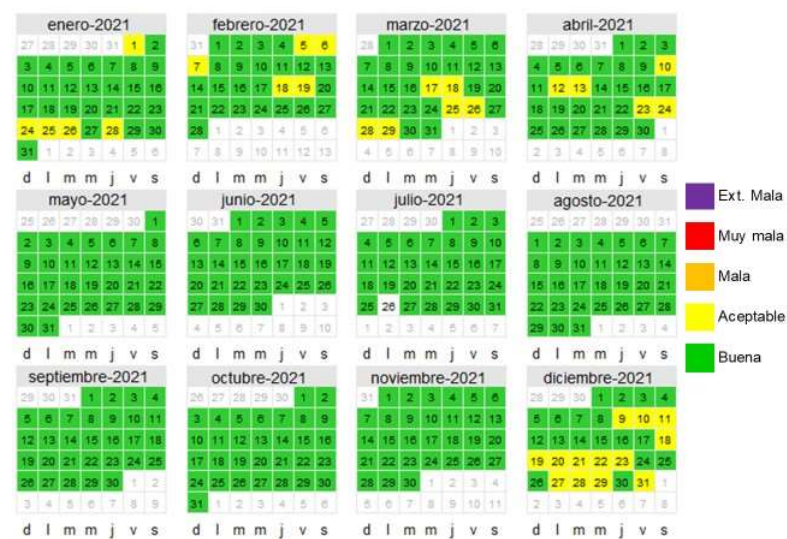


Imagen 15. Calidad del aire del SO<sub>2</sub> en la Zona Metropolitana de Querétaro.

Para San Juan del Río 356 días se tuvo calidad del aire buena y solo 9 días se registró calidad del aire aceptable, donde abril fue el mes con mayor cantidad de días con calidad del aire aceptable.



Imagen 16. Calidad del aire del SO<sub>2</sub> en San Juan del Río.

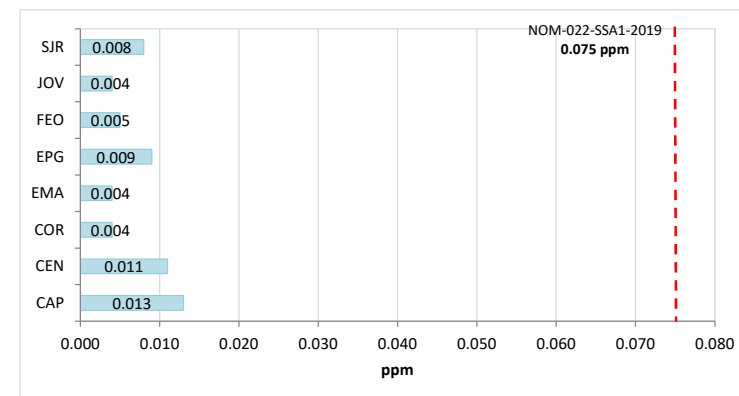
En cuanto al cumplimiento de la Norma NOM-022-SSA1-2019, esta cuenta con una forma de evaluación más específica, por lo que para su evaluación correcta se requieren de 3 años de datos válidos. Sin embargo, para su evaluación en el 2021 se optó por tomar el indicador de manera anual, de forma que se pudiese dar una idea del cumplimiento o no de la misma. Por tanto, se incluyó un indicador donde el porcentaje de datos válidos no se tomó en cuenta para la realización, debido a que se pueden aplicar algunos criterios de compleción en la evaluación trianual. Es así que para el cumplimiento en el 2021 se siguieron los siguientes Límites Máximos Permisibles: 1) que el promedio del percentil 99 de los máximos diarios no rebase 0.075 ppm y 2) que el promedio máximo de 24 horas no sea superior a 0.04 ppm. Se obtuvieron los resultados de la tabla 23:

Tabla 23. Análisis del cumplimiento de la NOM-022-SSA1-2019.

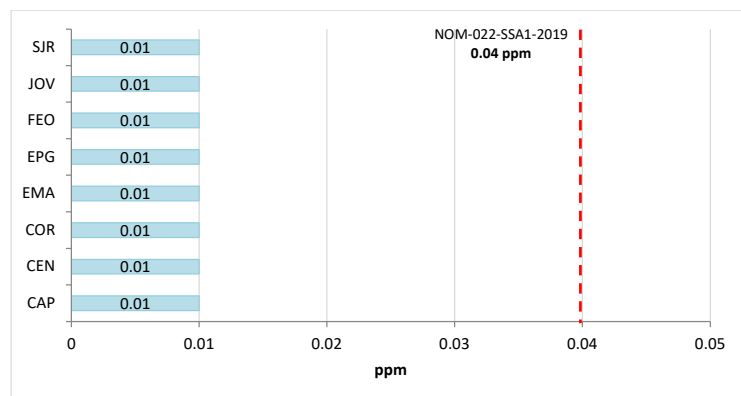
Estación	Promedio máx. diario (ppm)	Promedio máx. 24 h (ppm)	¿Cumple con la NOM-022-SSA1-2019?
CAP	0.013	0.01	✓
CEN	0.011	0.01	✓
COR	0.004	0.01	✓
EMA	0.004	0.01	✓
EPG	0.009	0.01	✓
FEO	0.005	0.01	✓
JOV	0.004	0.01	✓
SJR	0.008	0.01	✓

Por tanto, los LMP establecidos, sin tomar en cuenta la compleción, fueron cumplidos por todas las estaciones del SMCAQ durante 2021.

El cumplimiento del indicador se muestra en las gráficas 18 y 19, donde se observa que las estaciones del SMCAQ estuvieron muy por debajo de los LMP para SO<sub>2</sub>, siendo un contaminante de poca preocupación para el Estado de Querétaro.



Gráfica 18. Cumplimiento normativo de la NOM-022-SSA1-2019, promedio horario.



Gráfica 19. Cumplimiento normativo de la NOM-022-SSA1-2019, promedio 24 h.

#### IV.6 Análisis del material particulado (PM)

- Análisis de partículas menores a 10 micras (PM<sub>10</sub>)

Las partículas PM<sub>10</sub> sólo se miden en la estación CAP. El detalle del porcentaje de datos válidos se encuentra en la tabla 24, observando que durante todo el año estuvo arriba del 90%.

Tabla 24. Porcentaje de completión de datos por trimestre para PM<sub>10</sub>.

Trimestre	CAP
	% porcentaje
Ene-Mar	99.2
Abr-Jun	92.0
Jul-Sep	99.3
Oct-Dic	99.6
<b>Anual</b>	<b>97.5</b>

De acuerdo con el análisis estadístico la concentración media de PM<sub>10</sub> fue de 38.24 µg/m<sup>3</sup> (microgramos por metro cúbico), con un mínimo de 0.07 µg/m<sup>3</sup> y máximo de 438.25 µg/m<sup>3</sup>.

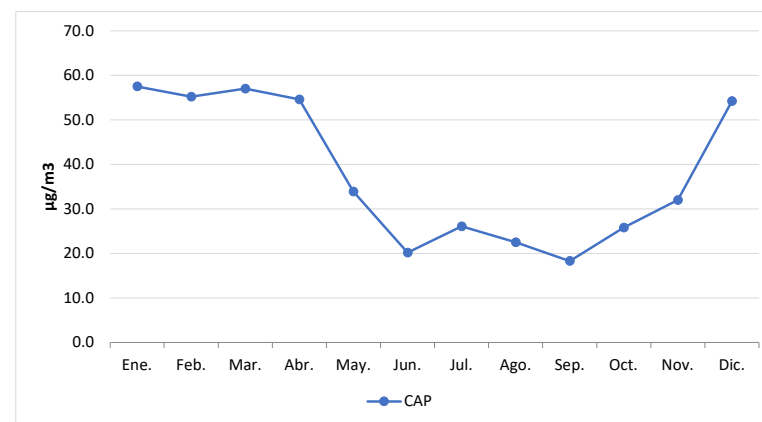
Los máximos que se tuvieron se presentaron en el mes de febrero. La mayor concentración es de 277 µg/m<sup>3</sup>, ocasionada por un evento extraordinario de tolvaneras presentado en la región del centro del país.

Tabla 25. Resumen estadístico de PM<sub>10</sub>.

Estación	Concentración en µg/m <sup>3</sup>					
	Media	Mediana	Máx. 1 h	Mín. 1 h	Máx. PP 12h	Mín. PP 12 h
CAP	38.24	30.31	438.25	0.07	336.00	2.00

PP promedio ponderado

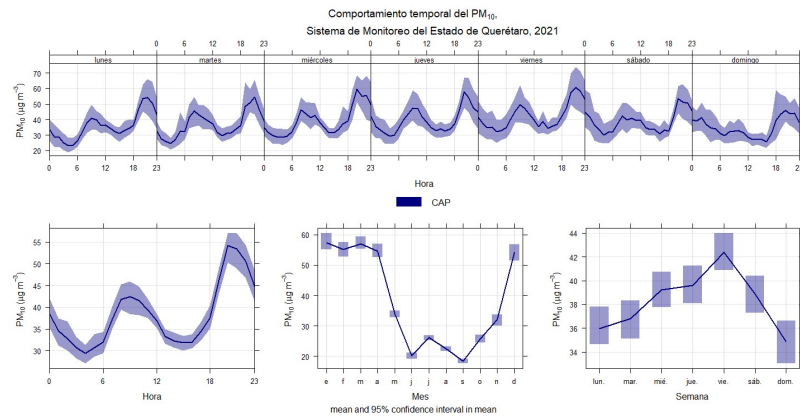
En cuanto al análisis temporal, las concentraciones más elevadas por encima de los 50 µg/m<sup>3</sup> se registraron en los meses de enero a abril y en diciembre. Gráfica 20.



Gráfica 20. Comportamiento mensual de PM<sub>10</sub> en las estaciones del SMCAQ.

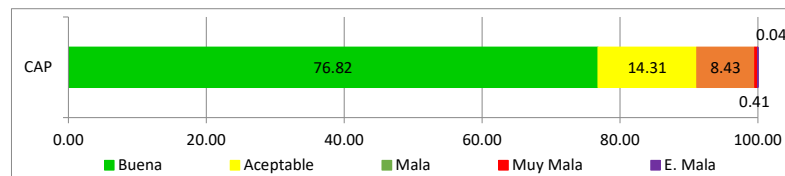
Del análisis por día y por hora de PM<sub>10</sub> se puede observar que los viernes son los días con mayor concentración. En cuanto al análisis por hora la mayor concentración es por la mañana entre las 9:00 y 11:00 horas y otro en la noche entre las 19:00 y 23:00 horas, alcanzando en este último horario valores superiores a los 55 µg/m<sup>3</sup>. Gráfica 21.

Informe de Estado y Tendencia de la Calidad del Aire del Estado de Querétaro 2021



Gráfica 21. Comportamiento temporal de PM<sub>10</sub> en estación CAP.

El ICARS de PM<sub>10</sub>, calculado con el promedio móvil ponderado de 12 horas se observa en la gráfica 22. Para este contaminante se alcanzaron los cinco niveles de calidad de aire en la Zona Metropolitana de Querétaro durante el año 2021. El 14.31% de horas estuvieron en calidad de aire aceptable, el 8.43% de horas en calidad del aire mala, 0.41% de horas con calidad del aire muy mala y el 0.04% de horas en calidad del aire extremadamente mala, además de un 76.82% con calidad del aire buena.



Gráfica 22. Índice de Aire y Salud del PM<sub>10</sub>, en porcentaje de horas.

El panorama anual se muestra en la imagen 17, en la cual se observa el ICARS en los 365 días del año de PM<sub>10</sub>. Se reitera que con una hora que se haya tenido la menor condición de calidad del aire, se toma el día completo con la condición presentada. Con este criterio se registra 1 día con calidad del aire en extremadamente mala; 19 días con calidad del aire muy mala; 109 días con calidad del aire mala, 52 días aceptable y 184 días con calidad del aire buena. El mes de enero sólo tuvo un día con calidad del aire buena y diciembre fue el que registró más días con calidad del aire muy mala.

Informe de Estado y Tendencia de la Calidad del Aire del Estado de Querétaro 2021



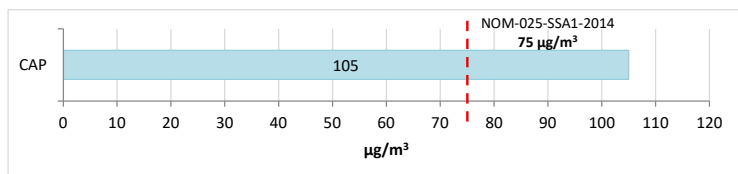
Imagen 17. Calidad del aire del PM<sub>10</sub> estación CAP.

Respecto al cumplimiento de la NOM-025-SSA1-2014 que establece los LMP en materia de salud ambiental para material particulado, se realiza considerando los 3 criterios establecidos en la norma para determinar su cumplimiento respecto a PM<sub>10</sub>: 1) un mínimo de 3 trimestres con más de 75% de datos válidos, 2) Promedio de 24 horas máximo menor o igual a 75 µg/m<sup>3</sup> y 3) promedio anual menor o igual a 40 µg/m<sup>3</sup>. La tabla 26 muestra el detalle del cumplimiento normativo para este contaminante en 2021.

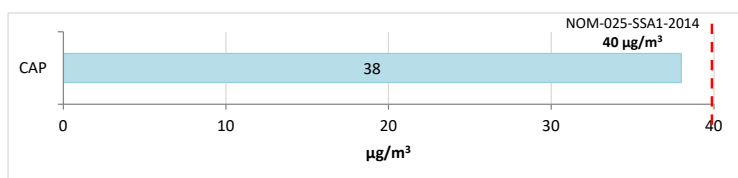
Tabla 26. Cumplimiento de la NOM-025-SSA1-2014 para PM<sub>10</sub>.

Estación	Máximo 24 h (µg/m <sup>3</sup> )	Promedio anual (µg/m <sup>3</sup> )	Criterio de completación	¿Cumple con la NOM-025-SSA1-2014?
CAP	105	38	Sí	X

En total fueron 21 días durante 2021 en los que se rebasó el LMP establecido por la Norma. El detalle gráfico del cumplimiento normativo se observa en las gráficas 23 y 24 para los dos indicadores que establece la Norma referida. Es importante señalar que, aunque se tuvieron días en los cuales se rebasó el LMP para 24 horas, el promedio anual que establece la misma Norma sí se cumplió (gráfica 24).



Gráfica 23. Cumplimiento normativo de la NOM-025-SSA1-2014 del promedio diario para PM<sub>10</sub>.



Gráfica 24. Cumplimiento normativo de la NOM-025-SSA1-2014 promedio semestral para PM<sub>10</sub>.

• **Análisis del material particulado menor a 2.5 micras (PM<sub>2.5</sub>)**

Durante el primer semestre de 2021 no todas las estaciones monitorearon partículas PM<sub>2.5</sub>, la estación de SJR no contaba con analizador, se instaló y comenzó a operar en el mes de mayo, por eso es que en el segundo trimestre no se alcanzó la suficiencia dado que todo el mes de abril no se contó con información. Por otro lado, la nueva estación COR y las estaciones JOV y EPG comenzaron a operar hasta el segundo semestre del año; por lo que los datos reportados para COR durante el primer semestre no fueron constantes debido a que el equipo estuvo en mantenimiento en periodos prolongados, al igual que el analizador de CEN que durante el segundo trimestre estuvo también en mantenimiento. No obstante, durante el segundo semestre de 2021 se alcanzó más del 80% de suficiencia de información en todas las estaciones. Tabla 27.

Tabla 27. Porcentaje de completación de datos para PM<sub>2.5</sub>.

Trimestre	CEN	COR	EMA	EPG	FEO	JOV	SJR
	% porcentaje						
Ene-Mar	99.7	30.6	52.1		58.4		
Abr-Jun	32.0	37.3	72.5		94.2		45.8
Jul-Sep		98.9	97.6	99.3	91.7	98.4	82.0
Oct-Dic		98.0	97.6	99.4	96.0	99.3	97.8
<b>Anual</b>	<b>NA</b>	<b>66.5</b>	<b>80.1</b>	<b>NA</b>	<b>85.2</b>	<b>NA</b>	<b>56.7</b>

■ Equipo en mantenimiento    ■ Sin equipo    ■ NA No aplica

En cuanto al análisis estadístico de partículas PM<sub>2.5</sub>, para la Zona Metropolitana de Querétaro, La estación EMA reporta el valor más alto de la media con 15.26 µg/m<sup>3</sup>, mientras que el menor promedio fue registrado en COR con 10.94 µg/m<sup>3</sup>. El valor máximo horario y promedio ponderado móvil de 12 horas (PP12h) fue registrado en la estación JOV con 248.80 µg/m<sup>3</sup> y 192 µg/m<sup>3</sup>. En San Juan del Río, la media fue de 12.29 µg/m<sup>3</sup> con un máximo horario de 115.65 µg/m<sup>3</sup> y máximo promedio móvil ponderado de 60 µg/m<sup>3</sup>, comparables con estaciones como JOV y EPG en la Zona Metropolitana de Querétaro. Tabla 28.

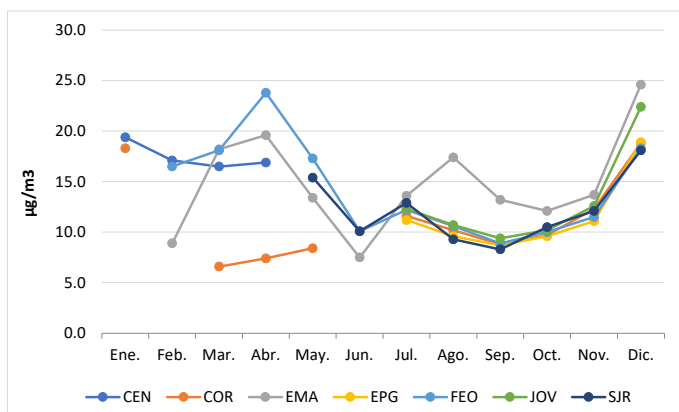
Tabla 28. Resumen estadístico del PM<sub>2.5</sub> por estación.

Estación	Concentración en µg/m <sup>3</sup>					
	Media	Mediana	Máx. 1 h	Mín. 1 h	Máx. PP12h	Mín. PP12h
CEN	17.49	17.57	57.73	0.00	47.00	0.00
COR	10.94	9.51	71.96	0.00	59.00	0.00
EMA	15.26	13.90	109.60	0.01	85.00	0.00
EPG	11.53	10.00	95.09	0.00	83.00	1.00
FEO	14.31	12.22	173.93	0.00	130.00	0.00
JOV	12.98	10.90	248.80	0.00	192.00	1.00
SJR	12.29	10.88	115.65	0.00	60.00	1.00

PP promedio ponderado

El comportamiento mensual de las PM<sub>2.5</sub> puede observarse en la gráfica 25, mostrando un comportamiento similar para la Zona Metropolitana de Querétaro. Las concentraciones más altas fueron registradas en los meses de abril y diciembre.

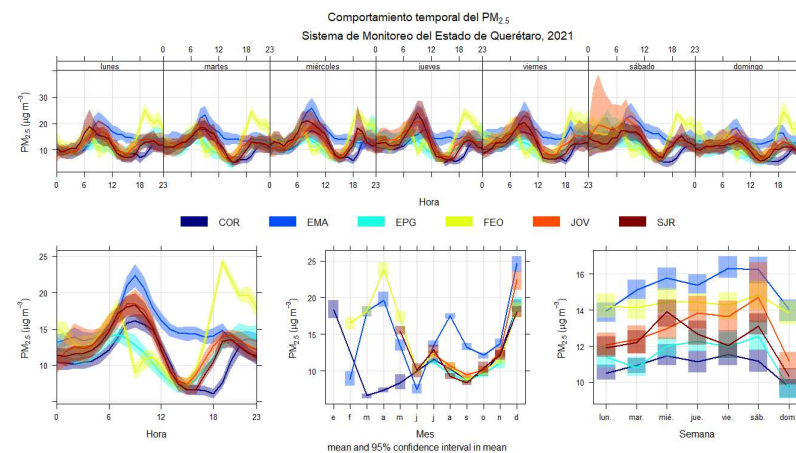




Gráfica 25. Comportamiento mensual del PM<sub>2.5</sub> por estación.

El comportamiento temporal de PM<sub>2.5</sub> se muestra en la gráfica 26. En cuanto a los perfiles por día, para la Zona Metropolitana de Querétaro, se observa que los viernes y sábados registraron la mayor concentración promedio. Mientras que, en San Juan del Río, los miércoles fueron los días con mayor concentración.

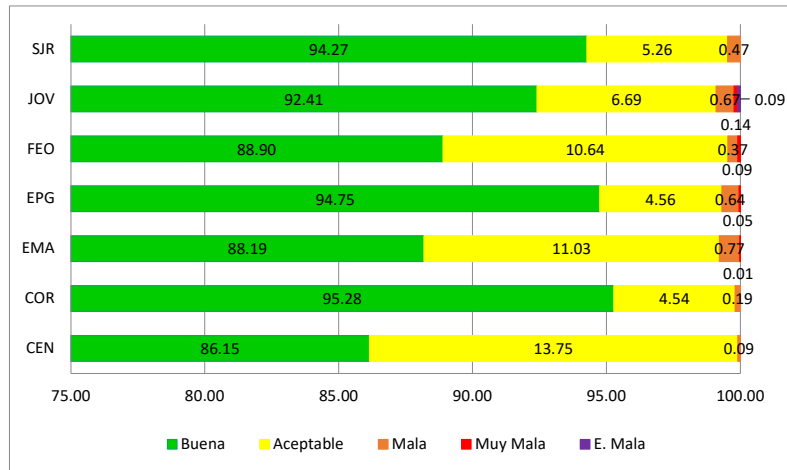
Respecto al perfil horario, se muestran los valores más altos en dos horarios, uno por las mañanas entre las 9:00 y a las 11:00 horas y otro por las tardes aproximadamente en las 19:00 horas. Para todas las estaciones de la Zona Metropolitana de Querétaro el pico de mayor intensidad fue registrado en las mañanas, excepto en la estación FEO, la cual registra su valor más elevado por las tardes. En San Juan del Río, al igual que en la mayor parte de la Zona Metropolitana de Querétaro, el pico más intenso ocurrió por las mañanas. Gráfica 26.



Gráfica 26. Comportamiento temporal de PM<sub>2.5</sub> en las estaciones del SMCAQ.

El análisis del ICARS para PM<sub>2.5</sub>, muestra que durante el 88 y 95% las horas registradas se tuvo calidad de aire buena y hasta un 13.75% de horas con calidad del aire aceptable, menos del 1% horas con calidad del aire mala y menos del 0.01 de horas con calidad del aire muy mala. En San Juan del Río el 94.27% de horas registradas tuvo calidad del aire buena, 5.26% de horas con calidad del aire aceptable y menos del 0.5% de horas con calidad del aire mala. Gráfica 27.





Gráfica 27. Índice de Aire y Salud para PM<sub>2.5</sub> en porcentaje de horas.

El panorama anual de PM<sub>2.5</sub> se muestra en la imagen 18 para la Zona Metropolitana de Querétaro e imagen 19 para San Juan del Río. Una vez más se reitera que el criterio para determinar la condición de calidad del aire se realizó con la condición más baja si se tuvo al menos una hora del día.

Para la Zona Metropolitana de Querétaro se tuvo la medición del ICARS para los 365 días del año, registrando un total de 141 días con calidad del aire buena, 198 días con calidad del aire aceptable y 24 días con calidad del aire mala y 1 con calidad del aire muy mala; siendo diciembre el que se observa con menos días con calidad del aire buena. Imagen 18.



Imagen 18. Calidad del aire del PM<sub>2.5</sub> en la Zona Metropolitana de Querétaro.

En la estación SJR el equipo de PM<sub>2.5</sub> entró en operación hasta el mes de mayo, por lo que se empezó a registrar el ICARS a partir de ese mismo mes. Para el periodo analizado fueron un total de 217 días, de los cuales 161 días se tuvo buena calidad de aire, 45 días calidad del aire aceptable y 11 días en calidad del aire mala. El mes de septiembre todos los días estuvo con buena calidad del aire, mientras que diciembre registró el mayor número de días con calidad del aire mala y aceptable. Imagen 19.

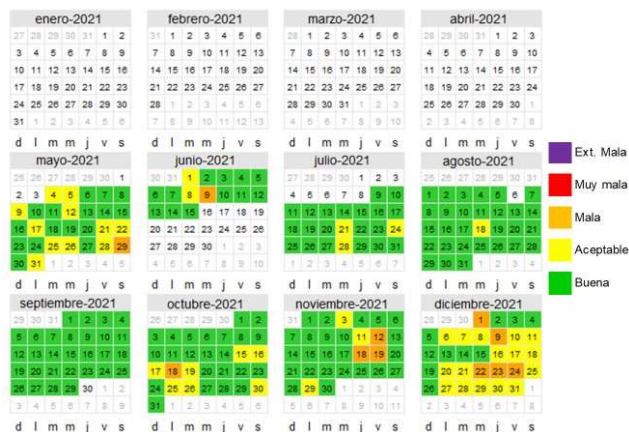


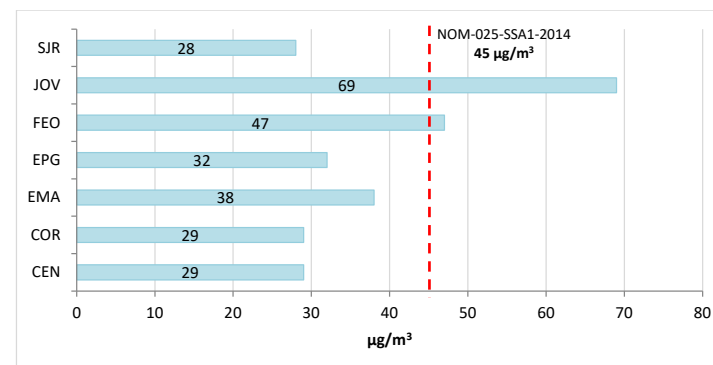
Imagen 19. Calidad del aire del PM<sub>2.5</sub> en San Juan del Río.

En cuanto al cumplimiento de la NOM-025-SSA1-2014 que establece los Límites Máximos Permisibles para protección de la salud de material particulado, considera tres criterios para la determinación de su cumplimiento respecto a PM<sub>2.5</sub>: 1) un mínimo de tres trimestres con más de 75% de datos válidos, 2) promedio de 24 horas máximo menor o igual a 45 µg/m<sup>3</sup> y, 3) promedio anual menor o igual a 12 µg/m<sup>3</sup>. En la tabla 29, se muestra la evaluación del cumplimiento de la Norma referida en la cual se indica el incumplimiento debido a que para el promedio anual no se obtuvo el criterio 1 en las estaciones de CEN, COR, EPG, JOV y SJR; sólo las estaciones EMA y FEO cumplieron con el porcentaje anual de datos válidos.

Tabla 29. Cumplimiento de la NOM-025-SSA1-2014 para PM<sub>2.5</sub>.

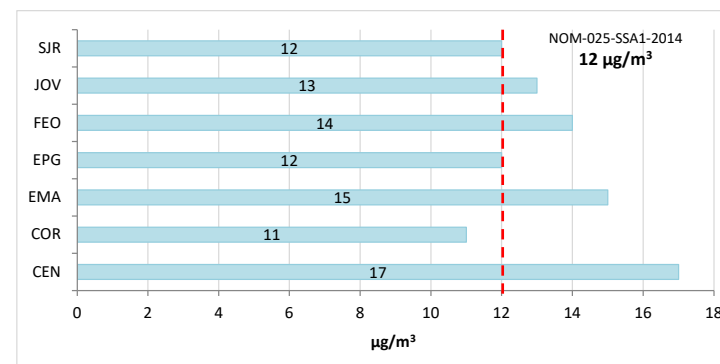
Estación	Máximo 24 h (µg/m <sup>3</sup> )	Promedio anual (µg/m <sup>3</sup> )	¿Cumple con la NOM?
CEN	29	NA	X
COR	29	NA	X
EMA	38	15	X
EPG	32	NA	X
FEO	47	14	X
JOV	69	NA	X
SJR	28	NA	X

En cuanto al máximo promedio de 24 horas, las estaciones FEO y JOV estuvieron arriba del LMP de 45 µg/m<sup>3</sup>, como se puede observar en la gráfica 28.



Gráfica 28. Cumplimiento normativo de la NOM-025-SSA1-2014, promedio 24h de PM<sub>2.5</sub>.

En cuanto al promedio anual, se muestra el promedio obtenido con la información recabada por estación con la finalidad de conocer el comportamiento de cada una de ellas. Sin embargo, como se mencionó, solamente las estaciones de EMA y FEO contaron con información para evaluar este indicador anual. En la gráfica 29 se muestra que sólo la estación COR está por debajo del LMP marcado por la Norma y las estaciones de SJR y EPG quedaron en el límite, mientras las demás estuvieron arriba del LMP.

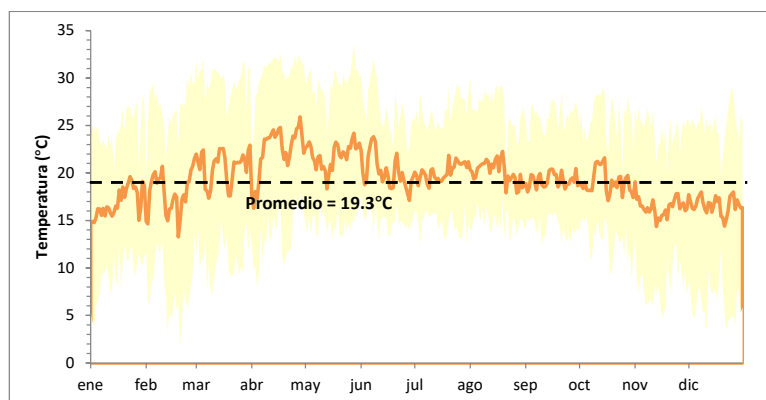


Gráfica 29. Cumplimiento normativo de la NOM-025-SSA1-2014, promedio anual de PM<sub>2.5</sub>.

#### IV. Análisis de variables meteorológicas

##### V.1 Temperatura

En la gráfica 30 se muestra el comportamiento diario de la temperatura durante el 2021. El promedio anual fue de 19.3°C, donde noviembre y diciembre estuvieron por debajo de la media en el total de los días siendo por tanto los meses más fríos, mientras que casi todos los días de los meses de abril y mayo estuvieron por encima de la media, siendo los meses más calurosos, coincidiendo con las altas temperaturas y sequía registradas en el país en 2021.



Gráfica 30. Comportamiento de la temperatura en la ZMQ.

En cuanto al comportamiento mensual de temperatura, el mes más caluroso fue abril con una media de 22.4°C y máximas diarias de 30.5°C. Sin embargo, la máxima temperatura registrada fue en mayo con 33.7°C, mientras que las medias mínimas de mayor temperatura, es decir, noches que fueron más calurosas, ocurrieron en junio, donde la media fue de 15.1°C. Para las temperaturas mínimas, el mes más frío fue noviembre con 16.4°C y medias máximas promedio de 24.5°C. En febrero se registró la temperatura más baja de 1.8°C, mientras que las noches más frías se registraron en diciembre con una media mínima de 6.5°C. Tabla 30.

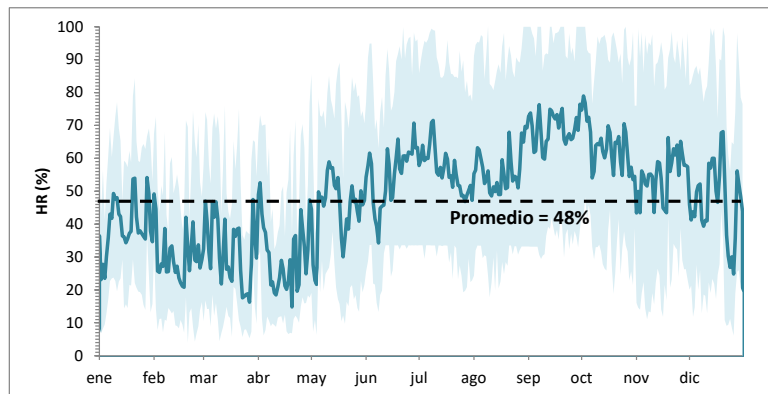
El promedio anual fue de 19.3°C, con temperaturas máximas promedio de 26.9°C y mínimas de 12°C.

Tabla 30. Comportamiento mensual de la temperatura en la ZMQ.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Max. Abs.	28.3	30.6	32.2	32.6	33.7	32.0	29.4	30.0	28.6	28.9	26.9	28.9	33.7
Máx. Prom.	24.7	26.7	29.8	30.5	29.5	26.7	26.5	26.9	26.0	25.8	24.5	25.2	26.9
Prom.	16.9	17.8	20.7	22.4	21.9	20.2	20.1	20.1	19.2	19.1	16.4	16.6	19.3
Mín. Prom.	9.2	7.9	11.0	13.5	14.8	15.1	14.7	14.9	14.4	12.9	8.4	6.5	12.0
Mín. Abs.	3.8	1.8	7.2	8.0	13.1	12.7	12.4	12.8	12.4	8.9	4.7	3.3	1.8
Escala(°C)													
0-3	3.1-5	5.1-8	8.1-13	13.1-16	16.1-19	19.1-22	22.1-26	26.1-29	29.1-33	33.1-40			

##### V.2 Humedad relativa

El comportamiento de la humedad relativa se muestra en la gráfica 31. El promedio anual de humedad relativa es de 48%. Los meses de junio a octubre presentaron mayor humedad, observando que las medias diarias fueron superiores al promedio anual. En los meses de febrero a abril se registraron valores de humedad relativa menores al promedio anual, indicando que fue la temporada más seca del año, como se verá en el análisis de la precipitación pluvial, coincidiendo con las altas temperaturas del año.



Gráfica 31. Comportamiento de la humedad relativa (HR) en la ZMQ.

En la tabla 31 se muestra el promedio, máximos y mínimos mensuales de humedad relativa por estación. Los meses debajo del promedio de humedad relativa fueron febrero y abril con apenas el 30% de promedio diario y una media máxima de 55%. El mes más húmedo fue septiembre con 69% de humedad, los mayores valores de porcentaje de humedad relativa.

A manera de resumen anual, el promedio anual para 2021 de humedad relativa fue por tanto de 48% con un máximo promedio de 78% y mínimas de 23%.

Tabla 31. Comportamiento mensual de la humedad relativa en la ZMQ.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Máx. Abs.	84	74	76	77	89	100	99	100	100	100	99	100	100
Máx. Prom.	62	55	57	54	74	86	89	91	96	93	91	83	78
Promedio	39	30	32	30	45	55	57	57	69	64	55	47	48
Mín. Prom.	19	12	12	13	19	29	30	29	35	34	22	20	23
Mín. Abs.	7	4	4	6	6	13	19	18	29	19	11	6	4
<b>Escala(%HR)</b>													
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100			

### V.1 Rosas de viento

El comportamiento de vientos se realiza mediante rosas de viento, las cuales muestran su velocidad y dirección. El análisis de esta variable se realiza para la Zona Metropolitana de Querétaro con información registrada en las estaciones de monitoreo. El análisis se realiza por semestre.

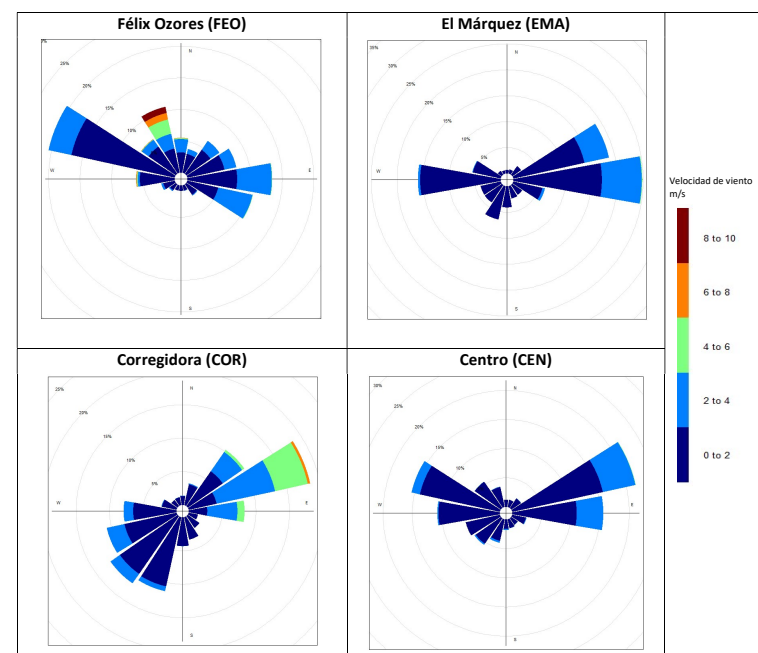


Imagen 20. Rosas de viento del primer semestre 2021. Zona Metropolitana de Querétaro.

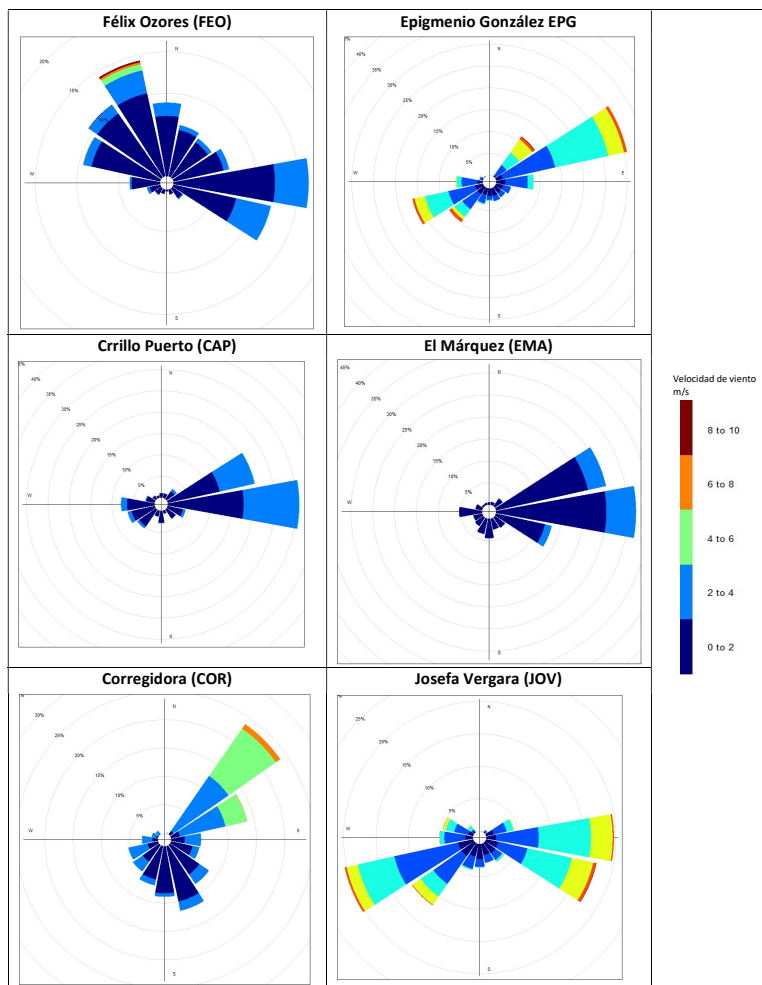


Imagen 21. Rosas de viento del segundo semestre 2021. Zona Metropolitana de Querétaro.

## V. Conclusiones y perspectiva

El presente informe representa un avance significativo para el SMCAQ, al contar con información del comportamiento por contaminante y generación continua de indicadores de calidad, que permiten identificar zonas de interés por contaminantes y la toma de decisiones oportuna para su mitigación.

El año 2021 ha representado la continuación en la reorganización de la estructura y funcionamiento del Sistema de Monitoreo de Calidad del Aire del Estado de Querétaro (SMCAQ) iniciado en julio de 2020; lo que incluyó la reubicación de dos de sus estaciones, EMA y FEO, el cambio de tecnología de la estación COR y la puesta en funcionamiento de otras dos nuevas estaciones en las delegaciones de Epigmenio González y Josefa Vergara con las que se abarcó la zona norte y sur. Además de la implementación de un Sistema de Gestión de Calidad (SGC) para todo el SMCA que contempla tanto la operación, como el análisis y publicación de información.

Asimismo, el SMCAQ se incorporó al Sistema Nacional de Información de Calidad del Aire (SINAICA), publicando la información en tiempo real, como se realiza en la página web y la app Ambiente QRO; además de la publicación continua en redes sociales. Con ello contribuyó al cumplimiento del objetivo del SMCAQ de proporcionar información veraz y oportuna sobre la calidad del aire e informar a la población en general sobre los niveles de exposición a la contaminación atmosférica y sus posibles riesgos a la salud.

En cuanto a la calidad del aire en la Zona Metropolitana de Querétaro y San Juan del Río, para el periodo analizado se observó que es predominantemente buena y aceptable para gran parte de los contaminantes. No obstante, se alerta para la atención oportuna de niveles de partículas  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  de manera prioritaria y vigilar el comportamiento de ozono y bióxido de azufre en algunas zonas. Esto debido a que a partir de 2022 los LMP de las Normas de salud se redujeron.

Respecto a material particulado, para 2021 en Zona Metropolitana de Querétaro se reportaron valores esporádicos de calidad del aire mala y arriba del LMP. Para  $PM_{10}$  fueron un total de 21 días con el indicador de promedio 24 horas, respecto al  $PM_{2.5}$  el promedio 24 horas fueron solo 2 días los que rebasó el valor establecido por la Norma y para el promedio anual debe vigilarse dado que para 2022, tomando en cuenta que en JOV y FEO en 2021 registraron valores arriba del LMP.

Por otro lado, el ozono, aunque para el promedio horario no se rebasó el LMP que establece la Norma, para el promedio móvil de 8 horas estuvo fuera del LMP 17 veces, 12 en la estación FEO, 3 en CAP y 2 en CEN. El dióxido de azufre presentó días con calidad del aire aceptable en algunas horas sin llegar a rebasar los LMP que estable la norma de salud ambiental.

Para San Juan del Río, el ozono y al dióxido de azufre presentaron algunas horas de calidad aceptable. Las  $PM_{2.5}$  que se comenzaron a medir en mayo registraron algunas horas de mala calidad de aire, llegando a contabilizar 11 días donde se tuvo al menos una hora en este nivel. Por lo que debe vigilarse el comportamiento de partículas en esta zona dado que, pese a cumplir con el promedio anual y promedio máximo de 24 horas, se debe tener en cuenta que la Norma fue actualizada para el año 2022 la cual establece niveles más estrictos.

En cuanto a la perspectiva del Sistema de Monitoreo de Calidad del Aire de Querétaro (SMCAQ), dado que es dinámico, requiere que se dé seguimiento a procesos de mejora continua a través del Sistema de Gestión de Calidad (SGC) implementado, lo que permitirá identificar áreas de oportunidad de manera oportuna para su debida atención, así como la incorporación y actualización de nuevas tecnologías tanto en infraestructura de operación como en análisis y publicación de información.

La visión en el corto plazo es continuar con el fortalecimiento del SMCAQ que permita contar con tecnología de vanguardia, proporcionando información veraz y oportuna a la población para protección de la salud principalmente de personas vulnerables.

## Acrónimos

CAP	Estación Carrillo Puerto
CeMCAQ	Centro de Monitoreo de la Calidad del Aire del Estado de Querétaro
CEN	Estación Centro
CO	Monóxido de Carbono
COR	Estación Corregidora
COV	Compuestos Orgánicos Volátiles
EMA	Estación El Marqués
EPG	Estación Epigmenio González
FEO	Estación Félix Osores
ICARS	Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud
JOV	Estación Josefa Vergara
LMP	Límite Máximo Permisible
$NO_2$	Dióxido de Nitrógeno
NOX	Óxidos de Nitrógeno
$O_3$	Ozono
$PM_{10}$	Partículas menores a 10 micras
$PM_{2.5}$	Partículas menores a 2.5 micras
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SGC	Sistema de Gestión de Calidad
SJR	Estación San Juan del Río
SMCAQ	Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire del Estado de Querétaro
$SO_2$	Dióxido de Azufre

## Bibliografía

1. Biosait Europe. (2019, 5 marzo). ¿Qué son las PM<sub>2.5</sub> y las PM<sub>10</sub>? Biosait Europe - Laboratorio de análisis. <https://biosait.com/que-son-las-pm-2-5-y-las-pm-10/>
2. Comisión Nacional del Agua. (2019). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. CONAGUA. <http://cmx.org.mx/wp-content/uploads/MAPAS%202015/libros/SGAPDS-1-15-Libro19.pdf>
3. CONACO SERVYTUR México. (2018). Indicadores Querétaro. <https://www.concanaco.com.mx/documentos/indicadores-estados/Queretaro.pdf>
4. Consejo Nacional de Población. CONAPO. Recuperado 16 de marzo de 2021, [http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Glosario\\_Migracion\\_Interna?page=5](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Glosario_Migracion_Interna?page=5)
5. Consejo Nacional de Población. CONAPO (2018, enero). Delimitación de las zonas metropolitanas de México. <https://www.gob.mx/conapo/documentos/delimitacion-de-las-zonas-metropolitanas-de-mexico-2015>
6. Diario Oficial de la Federación. 20 de noviembre de 2019. Norma Oficial Mexicana NOM-172-SEMARNAT-2019, Lineamientos para la obtención y comunicación del Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud.
7. Diario Oficial de la Federación. 19 de agosto de 2014. Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-2014, establece los valores límite de concentración de ozono (O<sub>3</sub>) en el aire ambiente como medida para la protección a la salud humana; así como los criterios para su evaluación.
8. Diario Oficial de la Federación. 23 de diciembre de 1994. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-1993, establece los valores límite de concentración de Monóxido de Carbono (CO) en el aire ambiente como medida para la protección a la salud humana; así como los criterios para su evaluación.
9. Diario Oficial de la Federación. 8 de septiembre de 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2010, establece los valores límite de concentración de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) en el aire ambiente como medida para la protección a la salud humana; así como los criterios para su evaluación.
10. Diario Oficial de la Federación. 23 de diciembre de 1994. Norma Oficial Mexicana NOM-023-SSA1-1993, establece los valores límite de concentración de Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en el aire ambiente como medida para la protección a la salud humana; así como los criterios para su evaluación.
11. Diario Oficial de la Federación. 20 de agosto de 2014. Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014, establece los valores límite de concentración de Partículas Suspendidas PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> en el aire ambiente como medida para la protección a la salud humana; así como los criterios para su evaluación.
12. Gobierno del Estado de Querétaro. (2017, 14 febrero). Desarrollo Urbano – SDUOP. <https://gobqro.gob.mx/sduop/desarrollo-urbano/>
13. Instituto Municipal de Planeación. (s. f.). Zona Metropolitana de Querétaro. Implan Querétaro. Recuperado 17 de febrero de 2021, de <https://implanqueretaro.gob.mx/mapoteca-toc/25-zona-metropolitana/100-zona-metropolitana-de-queretaro-1-1>
14. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI. (2017). Anuario estadístico y geográfico de Querétaro. [https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF\\_Docs/qro\\_anuario\\_pdf.pdf](https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/qro_anuario_pdf.pdf)
15. Insunza, J. (2006). Meteorología Descriptiva Borrador y Aplicaciones. Nimbus. [http://nimbus.com.uy/weather/Cursos/Curso\\_2006/Textos%20complementarios/Meteorologia%20descriptiva\\_Inzunza/cap1\\_Inzunza\\_La%20atmosfera.pdf](http://nimbus.com.uy/weather/Cursos/Curso_2006/Textos%20complementarios/Meteorologia%20descriptiva_Inzunza/cap1_Inzunza_La%20atmosfera.pdf)
16. Rustom, A. (2012). Estadística Descriptiva, Probabilidad e Inferencia. Una visión conceptual y aplicada. <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120284/>
17. Rustom\_Antonio\_Estadistica\_descriptiva.pdf?sequence=1
18. Salazar, C., & Del Castillo, S. (2017). Fundamentos Básicos de Estadística (1.a ed.). <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/13720/3/Fundamentos%20B%C3%A1sicos%20de%20Estad%C3%ADstica-Libro.pdf>
19. Sánchez-Salinas, E., Ortiz-Hernández, M. L., & Castrejón-Godínez, M. L. (2014). Contaminación Urbana del Aire. Aspectos fisicoquímicos, microbiológicos y sociales. (1.a ed.). Universidad Autónoma del Estado de Morelos. [https://www.uaem.mx/progau/archivos/libros/2014\\_libro\\_contaminaci%C3%93n%20Urbana%20del%20aire.%20Aspectos%20fisicoqu%C3%8Dmicos%20microbiol%C3%93gicos%20y%20sociales.pdf](https://www.uaem.mx/progau/archivos/libros/2014_libro_contaminaci%C3%93n%20Urbana%20del%20aire.%20Aspectos%20fisicoqu%C3%8Dmicos%20microbiol%C3%93gicos%20y%20sociales.pdf)
20. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. SEMARNAT (2010). Población, superficie y densidad urbana en zonas metropolitanas (N.o 1). [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio\\_2016/archivos/04\\_procesouurbanizacion/D1\\_SISCDs01\\_02.pdf](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2016/archivos/04_procesouurbanizacion/D1_SISCDs01_02.pdf)
21. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. SEMARNAT (2013). Calidad del aire: una práctica de vida (1.a ed.) [Libro electrónico]. Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001593.pdf>


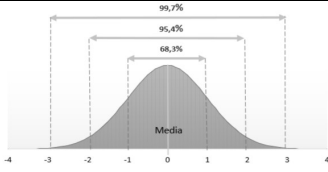
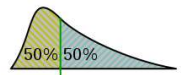
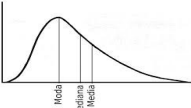
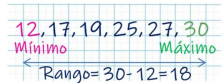


Anexo

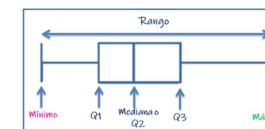
a. Conceptos estadísticos

Antes de comenzar con el repaso estadístico de los datos validados del 2020 de las estaciones de del Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire, es necesario un breve repaso sobre cada uno de los parámetros y gráficas representados en este informe, como una manera de entender con precisión el análisis estadístico de los datos obtenidos de las estaciones de monitoreo.

Tabla 31. Conceptos básicos de estadística descriptiva.

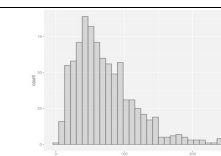
<p><b>Media aritmética o promedio:</b> Es la suma de todos los datos dividida entre el número de éstos. Es la medida de tendencia central por excelencia.</p>	
<p><b>Desviación estándar:</b> Es definido como el resultado de obtener la raíz cuadrada de la varianza. Indica también qué tanto se desvía los datos de la media aritmética.</p>	
<p><b>Mediana:</b> El dato de la variable que ocupa la posición central cuando se ordenan los datos de un conjunto.</p>	 <p>mediana</p>
<p><b>Moda:</b> Es el dato que se repite más número de veces en un conjunto de datos.</p>	
<p><b>Rango:</b> Es la diferencia entre los valores extremos de un conjunto de datos. Indica qué tan repartidos están los datos.</p>	
<p><b>Máximo y mínimo:</b> Son el valor más alto y pequeño de un conjunto de datos, respectivamente.</p>	

**Cuartiles:** Al dividir el número de datos en cien y multiplicarlos por 25, 50 y 75 (Q1, Q2 y Q3, respectivamente), los valores ubicados en esas posiciones son los cuartiles de un conjunto de datos.

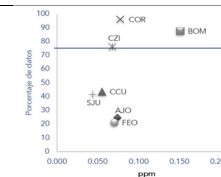


**Diagrama de caja y bigotes:** Es un gráfico que permite observar la dispersión de los datos, así como los valores atípicos y extremos presentes en un conjunto. Se construye con los cuartiles.

**Histograma:** Divide al total de datos de una variable en grupos e indica la frecuencia con la que los datos del conjunto aparecen en cada grupo.



**Gráfico de cuadrantes:** Es un gráfico dividido en cuatro regiones, donde cada una se llama cuadrante. Es utilizado para categorizar información.



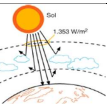






Fuente: Rustom, 2012; Salazar y Del Castillo, 2017.

b. Conceptos sobre meteorología.

Para tener un mejor entendimiento de esta sección, se debe estar claro acerca de qué es la meteorología y sus conceptos que ayudarán a entender los datos presentados en esta sección. Son mostrados a continuación, en el cuadro 29.

Tabla 32. Conceptos básicos de meteorología.

**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.

<p><b>Radiación solar:</b> medida de intensidad de la radiación solar al alcanzar una superficie.</p>	
<p><b>Presión barométrica:</b> es la presión atmosférica de un sitio corregida por su altitud.</p>	
<p><b>Temperatura:</b> es una cantidad física que mide la cantidad de calor que hay en un medio.</p>	
<p><b>Humedad relativa:</b> es una relación que indica la cantidad de vapor de agua que hay en el aire.</p>	
<p><b>Viento:</b> Se llama viento al movimiento del aire por gradientes de temperatura. Sus parámetros importantes de medición son su velocidad y dirección (de dónde viene).</p>	
<p><b>Rosa de vientos:</b> 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.</p>	
<p><b>Precipitación pluvial:</b> es la caída de agua desde la atmósfera a la superficie de la tierra en forma de lluvia.</p>	

Fuente: CONAGUA, 2019; Insunza, 2006.