

# Reporte Meteorológico y de la **Calidad del Aire**

Zona Metropolitana de Monterrey

# Octubre 2023



EL GOBIERNO DEL  
**NUEVO**  
NUEVO LEÓN



## Directorio

### MC Félix Guadalupe Arriata Cruz

Secretario de Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Nuevo León

### IQ Armandina Valdez Cavazos

Directora de la Agencia de la Calidad del Aire

## Elaboración

### LF José Heriberto Vélez Garza

Coordinador de Modelación y Pronósticos de la Calidad del Aire

### LDGP Marisol Domínguez González

Analista de la Calidad del Aire

2

### Citar este documento como:

Secretaría de Medio Ambiente de Nuevo León. "Reporte meteorológico y de la calidad del aire de la Zona Metropolitana de Monterrey: octubre 2023". Año de publicación: 2023. Dirección de Gestión Integral del Aire. Monterrey, Nuevo León.

### Secretaría de Medio Ambiente del Estado de Nuevo León

Torre Administrativa | Piso 26 Calle Washington 2000 Ote  
Col. Obrera CP 64010 Monterrey, Nuevo León

### Dirección de Gestión del Aire

Torre Administrativa | Piso 27 Calle Washington 2000 Ote  
Col. Obrera CP 64010 Monterrey, Nuevo León



[www.nl.gob/medioambiente.mx](http://www.nl.gob/medioambiente.mx)

Torre administrativa | Piso 27

Calle Washington 2000 Oriente, Col. Obrera, 64010 Monterrey, Nuevo León.

Tel. 81 2033 2100

## Contenido

|   |    |
|---|----|
| Glosario.....   | 4  |
| Introducción .....  | 7  |
| Generalidades de la ZMM.....  | 8  |
| Metodología del reporte .....   | 12 |
| Variables Meteorológicas .....  | 13 |
| Temperatura (°C).....   | 15 |
| Humedad Relativa (%).....   | 16 |
| Presión atmosférica (mmHg) .....  | 17 |
| Radiación solar (W/m <sup>2</sup> ) .....   | 18 |
| Precipitación (mm/h) .....  | 19 |
| Velocidad del viento (km/h).....  | 20 |
| Concentraciones de contaminantes criterio .....   | 30 |
| Ozono (O <sub>3</sub> ) .....   | 31 |
| Bióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> ).....   | 32 |
| Monóxido de Nitrógeno (NO).....   | 33 |
| Bióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> ).....  | 34 |
| Monóxido de Carbono (CO) .....  | 35 |
| Material Particulado (PM <sub>10</sub> ) .....  | 36 |
| Material Particulado (PM <sub>2.5</sub> ) .....   | 37 |
| Cumplimiento de Normas Mexicanas y Programa de Respuesta a Contingencias<br>Atmosféricas..... | 38 |



## Glosario

- 1. Contaminante criterio:** Contaminantes medibles regulados por normas mediante la declaración de un límite máximo permisible, LMP, de concentración en el aire, con la finalidad de proteger la salud de los seres humanos y asegurar el bienestar de la población.
- 2. Microgramo por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ):** Unidades de medición para el contenido de un contaminante (especie gaseosa o sólida) que se refiere a la concentración en masa,  $\mu\text{g}$ , donde  $\mu$  se refiere a un submúltiplo de gramo igual a  $10^{-6}$  g, en un volumen de aire cuya longitud por lado es igual a un metro, es decir,  $1 \text{ m}^3$ , a condiciones normales.
- 3. Parte por millón (ppm):** Unidades de medición para la concentración en términos de volumen de un gas, para este caso contaminante, con relación al volumen que ocupa en el aire.
- 4. Material particulado ( $\text{PM}_{10}$ ):** Fragmentos de materia sólida que se transportan a través del aire cuyo diámetro aerodinámico, es decir, aquella partícula que tiene una densidad de  $1 \text{ g}/\text{cm}^3$ , la cual tiene una velocidad de desplazamiento similar a la partícula medible y que puede clasificarse con el uso de dispositivos conocidos como impactores. El diámetro de estas partículas es menor que 10 micrómetros.
- 5. Material particulado ( $\text{PM}_{2.5}$ ):** Refiérase a la definición para  $\text{PM}_{10}$ , pero con la peligrosidad en términos de depositación en las paredes de los alvéolos, ocasionando enfermedades respiratorias como la fibrosis. El diámetro de estas partículas es menor que 2.5 micrómetros.
- 6. Ozono ( $\text{O}_3$ ):** Gas compuesto por 3 átomos de oxígeno cuyas concentraciones máximas se localizan en la capa de la atmósfera que se llama: estratosfera. El ozono puede formarse a partir de reacciones químicas, así como por foto-reactividad entre otros contaminantes como los Óxidos de Nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's) o Hidrocarburos ( $\text{CH}_x$ ) en fuentes de emisión radiante, principalmente del Sol.



7. **Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>):** Gas incoloro de olor fuerte e irritable, soluble en agua y que puede oxidarse para formar Trióxido de Azufre (SO<sub>3</sub>) e Iones de Sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), estos forman sales inorgánicas y ácidos, componentes importantes de las partículas secundarias.
8. **Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>):** Gas que puede ser de origen primario a partir de la oxidación del nitrógeno atmosférico durante la combustión, o secundario mediante la oxidación del NO (Óxido de Nitrógeno) atmosférico cuya fuente principal son los vehículos, sin embargo, el NO se oxida en la atmósfera para formar NO<sub>2</sub>. El NO<sub>2</sub> participa en la formación del ozono troposférico en ambientes antropogénicos, además, los NO<sub>x</sub> son precursores de aerosoles de Nitrato de Amonio.
9. **Monóxido de Carbono (CO):** Gas incoloro, inodoro, producto de la combustión incompleta de material que contiene Carbono, como la gasolina, gas natural, petróleo, carbón, tabaco y otros materiales orgánicos.
10. **Fuente de emisión antropogénica:** Contaminantes generados por las actividades humanas que requieren la obtención de energía, alimento, transporte y la conversión de materiales para su bienestar.
11. **Fuente de emisión natural:** Son generados debido a procesos que ocurren en la naturaleza como el viento tangencial, incendios, emisiones volcánicas, la erosión, el choque de las olas del océano, entre otros ejemplos; estas fuentes pueden tomarse como referencia para la contaminación de fondo en el análisis de modelos atmosféricos, ya que son contrastes no vinculados con especies químicas contaminantes.
12. **Fuentes de emisión de área:** Son emisiones que no tienen conducción física, pero si logran transportarse por las corrientes del viento y el cambio en la densidad de las parcelas de aire.
13. **Fuentes de emisión fija:** Son emisiones resultantes de procesos industriales, de cocción o actividades afines que se desplazan a través de conductos o chimeneas. Estas fuentes pueden localizarse desde 1 m hasta 60 m, la altura dependerá del flujo emisivo del proceso, así como de la dispersión de los contaminantes.
14. **Fuentes de emisión móvil:** Son aquellas descargas hacia la atmósfera de residuos gaseosos o sólidos que se generan en combustiones de motores, como en el caso de vehículos, maquinaria o cualquier otro medio de transporte.



- 15. Estación de monitoreo:** Es el conjunto de instrumentos y equipos utilizados para la medición de parámetros meteorológicos y de concentración de contaminantes con el objetivo de reunir información suficiente para determinar la calidad del aire en una región. Existen estaciones fijas, semifijas y móviles.
- 16. Índice de Aire y Salud:** Indicador que muestra el estado de la calidad del aire en términos de pureza o de contaminación atmosféricas, así también los efectos potenciales para la salud.
- 17. Inventario de emisiones:** Instrumentos de gestión para la calidad del aire en los que se determinan las emisiones de contaminantes provenientes de diversos tipos de fuentes establecidas en una determinada área geográfica, con una resolución espacial a nivel municipal o estatal y con una ventana de tiempo en un año específico de actividad denominado año base.
- 18. Contingencia atmosférica:** Mediciones de una región que sobrepasan los Límites Máximos Permisibles, LMP, establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas, NOM; y que persisten en un periodo de tiempo en la atmósfera local de la ZMM.
- 19. Programa de Contingencia Atmosférica:** Conjunto de estrategias, acciones y procedimientos que permiten prevenir, controlar y atender los episodios debidos a las altas concentraciones de contaminantes emitidos en la atmósfera y cuya exposición puede afectar la salud de los humanos. Las altas concentraciones de los contaminantes exceden los LMP de acuerdo con las NOM de la Secretaría de Salud.



## Introducción

La contaminación atmosférica en la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM) ha generado un constante interés en la ciudadanía, por lo cual, la Secretaría de Medio Ambiente del Estado de Nuevo León a través del Sistema Integral de Monitoreo Ambiental (SIMA) se encarga de medir los parámetros meteorológicos e indicadores de la calidad del aire denominados contaminantes criterio. Esta información puede brindar diversos escenarios para conocer las tendencias del comportamiento de los parámetros y diseñar acciones de prevención, control y mitigación de la contaminación respirable.

En este reporte, se presenta el comportamiento temporal y espacial de los parámetros meteorológicos y los indicadores de la calidad del aire que se midieron en las 15 estaciones de monitoreo del SIMA para el mes de octubre de 2023; por otra parte, en conformidad con la NOM-172-SEMARNAT-2019 “Lineamientos para la obtención del Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud”, se presentan los valores de cada contaminante criterio para el periodo mencionado anteriormente, también se muestran los Días sobre la Norma y el Número de Eventos Activados en el “Plan de Contingencias Atmosféricas” en la ZMM.

La información que se obtiene de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire y que son presentadas en este reporte, pueden ser utilizados para estudios multidisciplinarios de investigadores, estudiantes y la ciudadanía en general.

**¡Cuidemos la calidad del aire porque es importante  
para nuestra salud!**



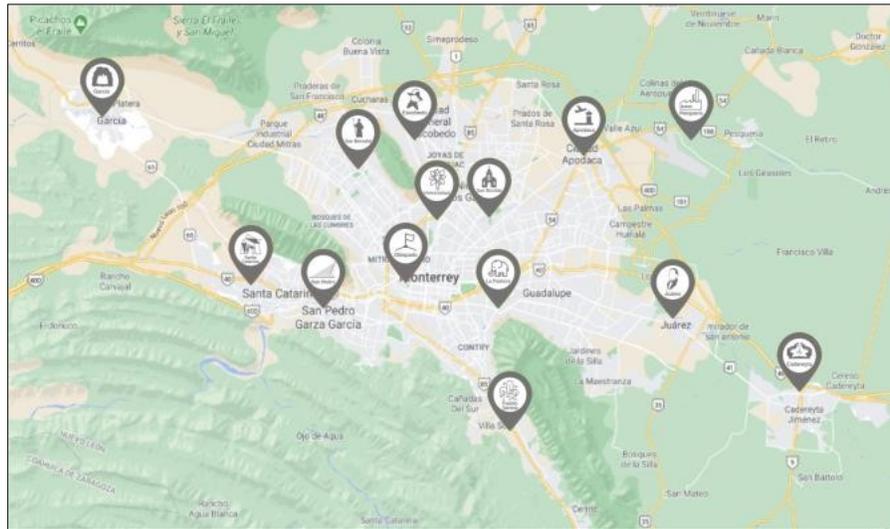
## Generalidades de la ZMM

La ZMM comprende 12 municipios del Estado de Nuevo León, con una extensión territorial aproximada de 6 370 km<sup>2</sup>, es la segunda zona más poblada en el país con 5 341 171 habitantes y ocupa el segundo puesto en generación económica, de la cual los sectores de manufactura y servicios aportan la principal derrama económica. Debido al crecimiento económico y urbano, el uso del suelo de la ZMM ha crecido constantemente y esto ha impactado en las emisiones de contaminantes hacia la atmósfera.

Debido al crecimiento de la ZMM, la medición de los contaminantes atmosféricos es parte fundamental para establecer posibles afectaciones en la calidad de vida de la población que conforman sus municipios. Por esta razón, la Dirección de Gestión Integral de la Calidad del Aire, a través del SIMA, mide las concentraciones de diversos contaminantes atmosféricos y divulga los valores de exposición a los cuales se encuentran expuestos los ciudadanos, además de emitir advertencias cuando se presenten altos valores en la contaminación atmosférica.

La red de monitoreo que conforman el SIMA comenzó sus operaciones el 20 de noviembre de 1992 con 5 estaciones. Posteriormente, la red incremento el número de estaciones teniendo hasta el momento 15 estaciones fijas, operando en 11 de los 12 municipios que conforman la ZMM, además de una estación móvil, la cual es empleada para realizar monitoreos en el resto de los municipios del Estado de Nuevo León. En la Figura 1 se muestra la localización de cada punto de monitoreo continuo con una cobertura amplia de la ZMM.





**Figura 1.** Representación espacial de las estaciones de monitoreo del SIMA.

en la Tabla 1 se presenta la ubicación por municipios de las estaciones del SIMA.

**TABLA 1**

Ubicación de las estaciones de monitoreo fijas del SIMA

| Punto | Estación   | Ubicación                      | Municipio ZMM            |
|-------|------------|--------------------------------|--------------------------|
| SE    | Sureste    | Tecnológico de Nuevo León      | Guadalupe                |
| NE    | Noreste    | Parque Los Naranjos            | San Nicolás de los Garza |
| CE    | Centro     | Col. Obispado                  | Monterrey                |
| NO    | Noroeste   | Prepa Militarizada San Bernabé | Monterrey                |
| SO    | Suroeste   | Parque El Jarocho              | Santa Catarina           |
| NTE   | Norte      | Parque Los Olivos II sección   | General Escobedo         |
| NO2   | Noroeste 2 | Presidencia Municipal          | García                   |
| NE2   | Noreste 2  | Col. Centro                    | Apodaca                  |
| SE2   | Sureste 2  | DIF Juárez Col. Centro         | Juárez                   |
| SO2   | Suroeste 2 | Gimnasio CDI Col. Saucos       | San Pedro                |
| SUR   | Sur        | Preparatoria Tec Garza Lagüera | Monterrey                |



|             |            |                                  |                          |
|-------------|------------|----------------------------------|--------------------------|
| <b>NTE2</b> | Norte 2    | Unidad Postgrado CEDEEM UANL     | San Nicolás de los Garza |
| <b>SE3</b>  | Sureste 3  | Col. Jerónimo Treviño 1er Sector | Cadereyta                |
| <b>NE3</b>  | Noreste 3  | Escuela Técnica Roberto Rocca    | Pesquería                |
| <b>NO3</b>  | Noroeste 3 | Col. Misión de San Juan          | García                   |

Los instrumentos de medición que miden las variables meteorológicas y que están instalados en las estaciones de monitoreo se presentan en la Tabla 2, en donde se miden continuamente: temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, precipitación, radiación solar y rapidez y dirección del viento. Por otra parte, los analizadores de gases y de partículas se presentan en la Tabla 3, en esta tabla se tienen instalados equipos de medición para monóxido de carbono, monóxido de nitrógeno, bióxido de nitrógeno, bióxido de azufre, ozono, PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>.

Los datos obtenidos son extraídos de cada una de las estaciones para llevar a cabo un proceso automático de validación, esto permite que se compare con los requerimientos establecidos por las NOMs y se tenga una base de datos en tiempo real que sirve para la formación de los indicadores que posteriormente se difunden en plataformas digitales y organismos nacionales e internacionales.

10

**TABLA 2**

Variables meteorológicas e instrumentos de medición

| <b>Variable</b>             | <b>Instrumento de medición</b> |
|-----------------------------|--------------------------------|
| <b>Temperatura</b>          | Termistor de estado sólido     |
| <b>Humedad relativa</b>     | Sensor de tipo capacitor       |
| <b>Presión atmosférica</b>  | Sensor de presión barométrica  |
| <b>Precipitación</b>        | Pluviómetro de tipo balancín   |
| <b>Rapidez del viento</b>   | Anemómetro                     |
| <b>Dirección del viento</b> | Veleta                         |
| <b>Radiación solar</b>      | Piranómetro                    |

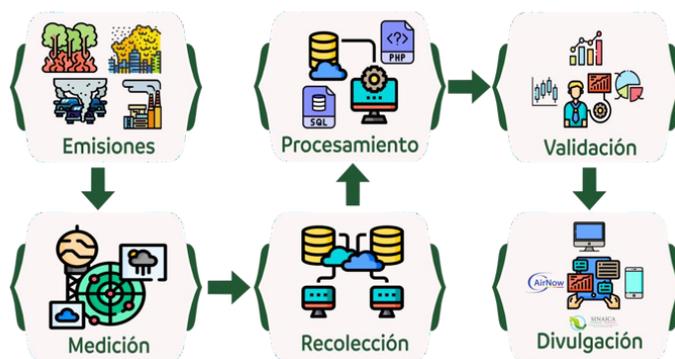


**TABLA 3**

Contaminantes criterio y método de medición

| Contaminante         | Método de medición                               |
|----------------------|--|
| Monóxido de carbono  | Fotometría IR                                    |
| Ozono                | Espectrofotometría UV                            |
| Bióxido de nitrógeno | Quimioluminiscencia                              |
| Bióxido de azufre    | Fluorescencia de pulso en UV                     |
| PM <sub>10</sub>     | Atenuación de Rayos-β                            |
| PM <sub>2.5</sub>    | Atenuación de Rayos-β y Dispersión de luz blanca |

En la Figura 2 se describe el proceso de toma de datos, procesamiento, validación y divulgación que se realiza en el Sistema Integral de Monitoreo Ambiental.



**Figura 2.** Ciclo de tratamiento de los datos del SIMA.

El ciclo comienza con la toma de muestra del aire ambiente, de aquí cada instrumento o analizador mide de acuerdo con sus características físicas y químicas. A continuación, viene la etapa de recolección o base de datos sin revisión para después llevarlos al procesamiento de los datos. Para la etapa de validación, los datos, deben de ser confiables y estar no sujetos a la posible inconsistencia algorítmica posible. En esta etapa se asegura que los datos son consistentes con las evaluaciones realizadas por el operador. Por último, se muestran al público, docentes, investigadores, sector privado, a toda la sociedad en general.



## Metodología del reporte

La elaboración de este reporte comprende de elementos gráficos y de discusión de 14 parámetros incluidos en las 15 estaciones de monitoreo, la medición se realiza de forma horaria por cada día del mes de octubre. Estos datos son validados y almacenados en el sistema de la Agencia de la Calidad del Aire para después mostrarlos mediante el presente reporte mensual.

Los contaminantes criterio son evaluados de acuerdo con la Normativa Oficial Mexicana que ha establecido los niveles máximos permisibles según la exposición e ingreso de estos compuestos al tracto respiratorio. En la Tabla 4 se presentan los valores para cada tipo de exposición y cada uno de los contaminantes que se miden en las estaciones del SIMA.

**TABLA 4**

Regulación de acuerdo con la exposición por contaminante

| Contaminante            | Unidad de medición | Promedio 24 h | Promedio anual | Máxima 1 h | Promedio móvil 8 h |
|-------------------------|--------------------|---------------|----------------|------------|--------------------|
| <b>PM<sub>10</sub></b>  | µg/m <sup>3</sup>  | 70            | 36             | -          | -                  |
| <b>PM<sub>2.5</sub></b> | µg/m <sup>3</sup>  | 41            | 10             | -          | -                  |
| <b>O<sub>3</sub></b>    | ppm                | -             | -              | 0.090      | 0.065              |
| <b>SO<sub>2</sub></b>   | ppm                | 0.040         | -              | 0.075      | -                  |
| <b>NO<sub>2</sub></b>   | ppm                | -             | 0.021          | 0.11       | -                  |
| <b>CO</b>               | ppm                |               |                | 26         | 9.0                |

NOTA: Los valores se muestran a 2 cifras significativas.

Previo al trabajo de representación gráfica, se presenta un resumen con la unidad de medición de cada variable, el valor promedio, la desviación estándar, el dato máximo y el dato mínimo.

Las variables meteorológicas son presentadas para cada una de las estaciones del SIMA con el apoyo visual de gráficas, se muestran los comportamientos promediados, así como los datos máximos y mínimos para el caso de la temperatura,



la humedad relativa, la presión atmosférica y rapidez del viento, además, de la generación de gráficas de comportamiento lineal para la radiación solar y precipitación; por último, se mostrarán las representaciones polares para la magnitud (rapidez) y dirección del viento, en otros términos, la velocidad del viento.

Para los Indicadores de Calidad del Aire (ICA) se presentan gráficas que muestran el comportamiento promedio del mes, también una comparativa de acuerdo con la normativa y regulación aplicable. Del mismo modo, se observarán estadísticos de comportamiento horario a lo largo de los 31 días; se mostrarán valores promedio, datos máximo y mínimo por cada estación.

Dentro del contexto relacionado con el Programa de Respuestas a Contingencias Atmosféricas (PRCA), se muestra el comportamiento durante el mismo mes para dar seguimiento a los criterios de activación para las fases de acuerdo con la situación presentada; para los Días Sobre la Norma (DSN) se muestra un gráfico de barras donde se presentan los días en los cuales se rebasó el límite máximo permisible por contaminante.

13

## **Variables Meteorológicas**

En esta sección se presentará la variación temporal de cada variable meteorológica. Es importante mencionar que cada sensor que mide un parámetro en específico está asociado con una escala y precisión para su correcta interpretación. En la Tabla 5 se observan las variables meteorológicas medidas por cada una de las 15 estaciones del SIMA, en la tabla se pueden ver el parámetro, el promedio, el registro máximo y mínimo y la desviación estándar.



**TABLA 5**

Variables meteorológicas para el mes de octubre

| Variable                   | Unidad de medición | Promedio mensual | Desviación estándar | Valor máximo | Valor mínimo |
|----------------------------|--------------------|------------------|---------------------|--------------|--------------|
| Temperatura                | °C                 | 22.70            | 5.54                | 39.71        | 2.10         |
| Humedad relativa*          | %                  | 66               | 16                  | 100          | 3            |
| Radiación solar**          | kWh/m <sup>2</sup> | 0.543            | 0.293               | 0.826        | 0.000        |
| Presión atmosférica        | mmHg               | 715.3            | 4.0                 | 743.3        | 680.1        |
| Precipitación <sup>‡</sup> | mm/h               | -                | -                   | 6.36         | 0.00         |
| Rapidez del viento         | km/h               | 7.4              | 3.8                 | 29.1         | 0.1          |

\*El sensor de HR de la estación NO3-Misión de San Juan y NTE-Escobedo estuvieron fuera de operación.

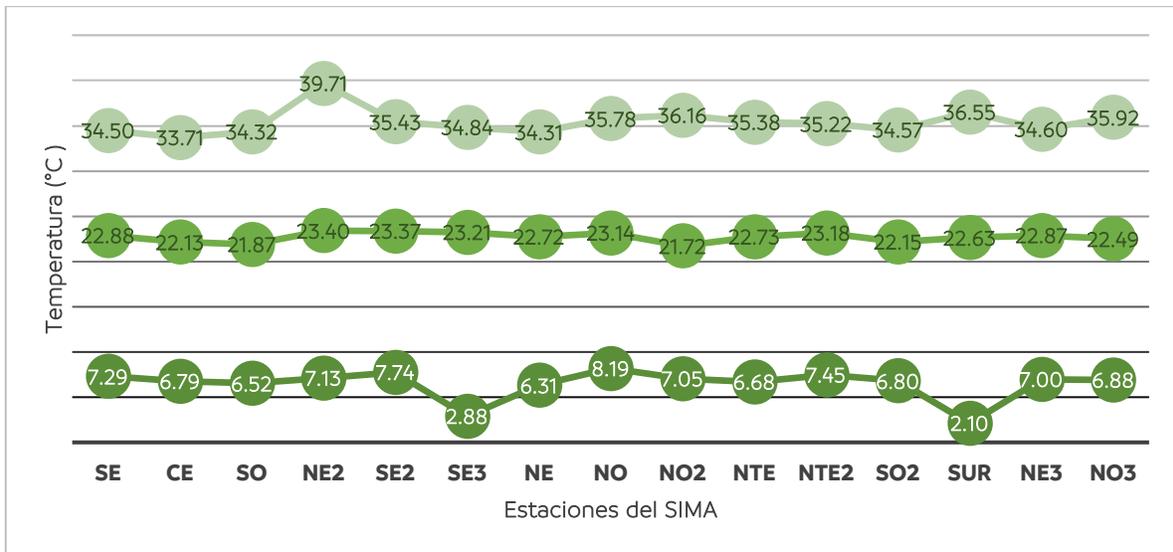
\*\*El sensor de RS de las estaciones NO-Santa Catarina y NO2-García estuvieron fuera de operación.

<sup>‡</sup>El pluviómetro de la estación SE estuvo fuera de servicio.



## Temperatura (°C)

La temperatura es una variable que dependerá de factores como la incidencia de los rayos solares, la posición del planeta Tierra en su trayectoria y de la generación de calor presente en el punto de medición. En cuanto al comportamiento de la temperatura durante el mes de octubre, en la Figura 3 se presentan: el valor máximo, la temperatura media y el valor mínimo. El valor medio fue de 22.70 °C. La estación con la mayor temperatura fue NE2 ubicada en el municipio de Apodaca con un valor de 39.71 °C, por otra parte, la estación con la menor temperatura fue SUR localizada en la Prepa Tec Garza Lagüera con 2.10 °C.



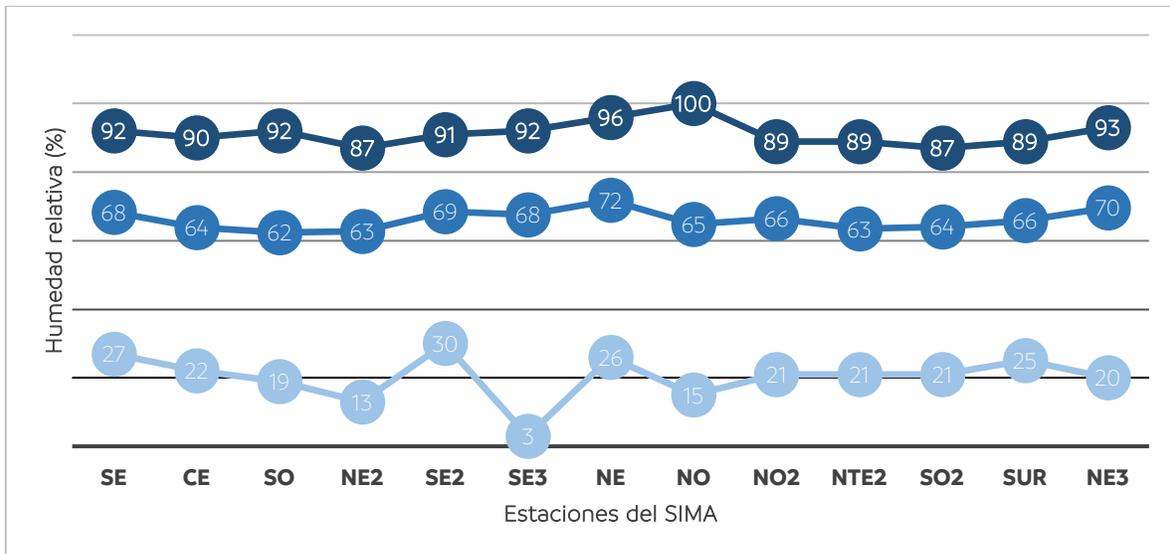
**Figura 3.** Comportamiento mensual de la temperatura en la ZMM.



## Humedad Relativa (%)

La humedad relativa depende de la razón entre la presión parcial del vapor de agua y la presión de vapor de equilibrio del agua, por esta razón se expresa en porcentaje. El comportamiento promedio es que la humedad tiene un máximo durante la noche y un mínimo durante el día.

En Figura 4, se presenta el comportamiento de la humedad relativa para la ZMM en donde se obtuvo un valor medio fue de 62%. La humedad relativa más alta se registró en el municipio de Monterrey en la estación NO con un valor de 100% y el dato mínimo se localizó en la estación de SE3-Cadereyta con un valor de 3%.



**Figura 4.** Comportamiento mensual de la humedad relativa en la ZMM.

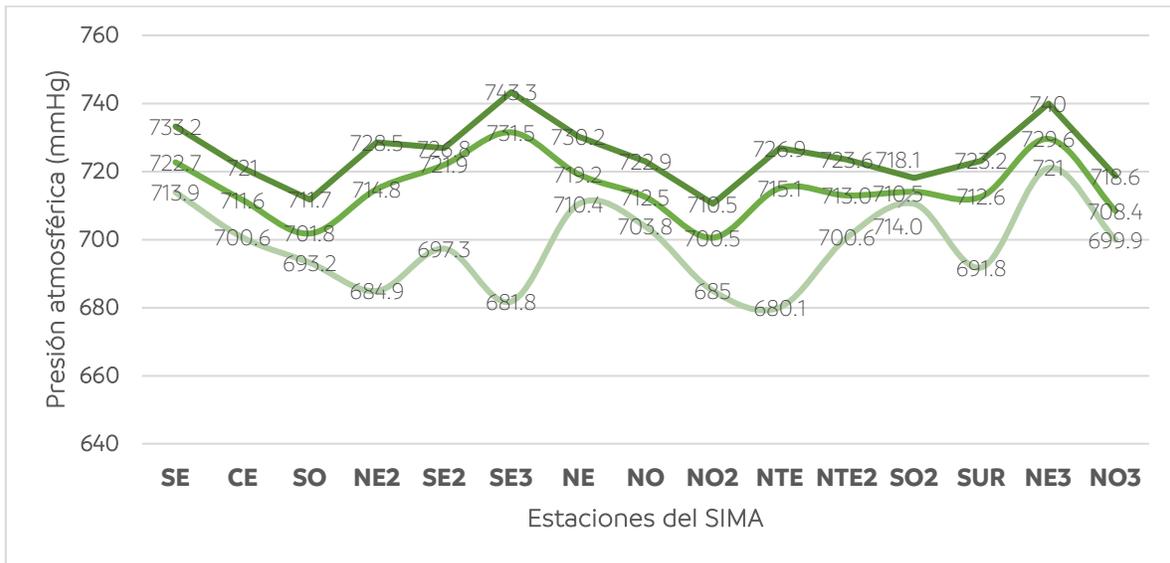
En la Figura 4 se muestran los datos para 13 estaciones, ya que como se mencionó anteriormente, los sensores de NO<sub>3</sub>-García y NTE-General Escobedo no estuvieron en operación.



## Presión atmosférica (mmHg)

La presión es una cantidad física escalar, es decir, que no tiene propiedades de direccionamiento; básicamente es la componente de una fuerza aplicada sobre una superficie. La presión del aire se aplica en la superficie de la Tierra y está dependerá de propiedades como la densidad. En este apartado, en la Figura 5, se muestra el comportamiento de la presión atmosférica medida por cada una de las estaciones del SIMA. Las unidades de medición de la presión atmosférica son mmHg.

Durante el mes de octubre, la presión atmosférica tuvo un dato promedio de 715.3 mmHg; el valor máximo en 743.3 mmHg se midió en la Estación SE3 en Cadereyta y el valor mínimo en 680.1 mmHg en la Estación NTE del municipio de Escobedo.



**Figura 5.** Comportamiento mensual de la presión atmosférica en la ZMM.

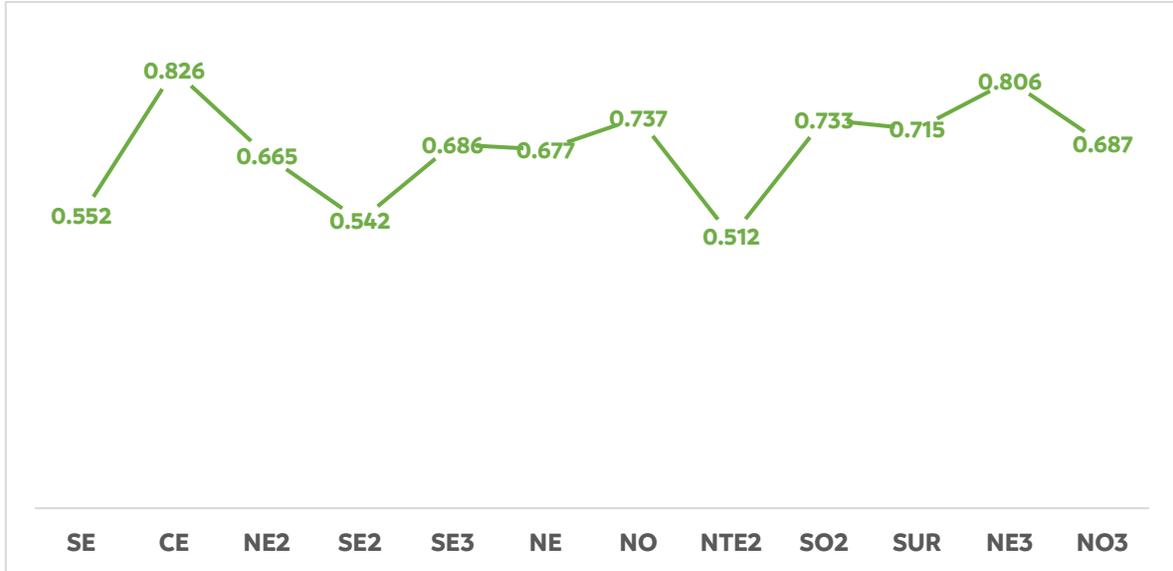


## Radiación solar (kWh/m<sup>2</sup>)

La incidencia de los rayos solares o radiación electromagnética es una forma de energía que llega hasta la atmósfera de la Tierra. La radiación solar se mide en unidades de potencia, Watts, sobre unidades de superficie, m<sup>2</sup>. La radiación solar, en su mayoría, está constituida de rayos infrarrojos, visibles y ultravioleta.

En este apartado, en la Figura 6, se muestra la medición promedio mensual medida con el piranómetro en cada estación del SIMA. La máxima radiación solar se midió en la Estación CE de Monterrey con un valor de 0.826 kWh/m<sup>2</sup>.

Para estas mediciones, las estaciones NO2 en García, SO en Santa Catarina y NTE en General Escobedo no registraron mediciones debido a una falla en el piranómetro.

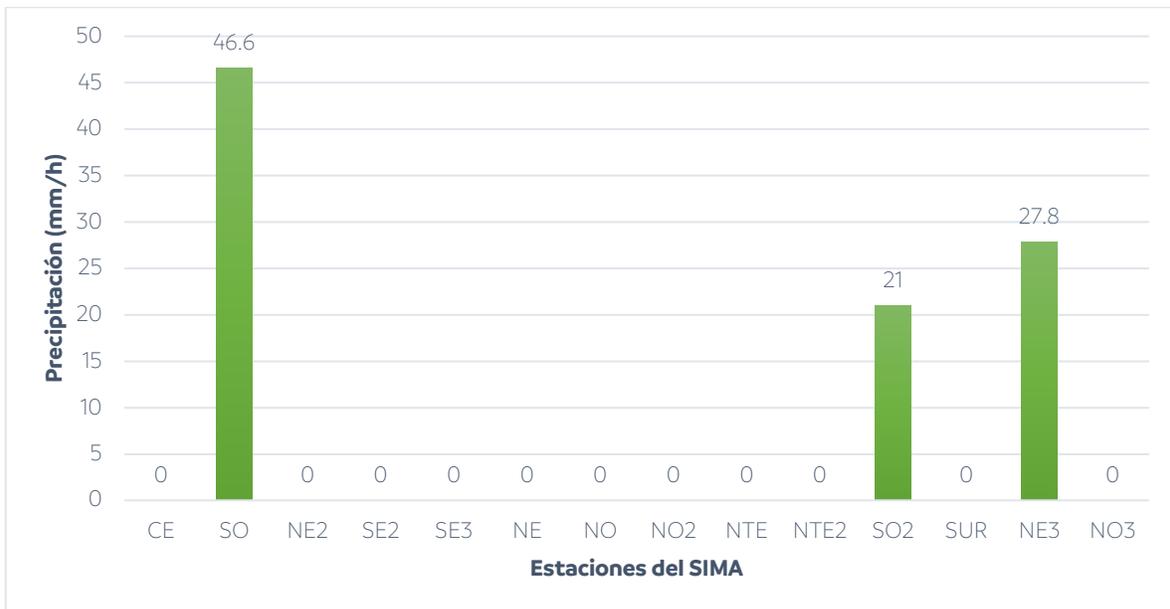


**Figura 6.** Comportamiento mensual de la radiación solar sobre la ZMM en unidades de kWh/m<sup>2</sup>.



## Precipitación (mm/h)

Durante el mes de octubre, se presentaron algunas lloviznas y chubascos. En la Figura 7 se presenta la cantidad de precipitación acumulada de acuerdo con las estaciones mostradas. En la estación donde se registró más cantidad de agua fue en SO en el municipio de Santa Catarina con un valor de 46.6 mm/h. El pluviómetro de la estación SE estuvo fuera de operación.



**Figura 7.** Acumulación de precipitación en estaciones del SIMA.



## Velocidad del viento ((r,θ), (km/h;°))

Otra de las variables meteorológicas de importancia es la velocidad del viento. Debido a que la velocidad es una cantidad vectorial, una de sus propiedades es la dirección, es decir, hacia donde se dirige un volumen de aire. La otra propiedad es su magnitud, que se le llama rapidez y se representa por una cantidad numérica y su unidad de medición.

Para este reporte las unidades de medición de la magnitud de la velocidad son kilómetros por hora (km/h) y la dirección en grados sexagesimales. En términos de magnitud, el valor promedio fue de 7.4 km/h, la estación que reportó el valor máximo fue NE3 - Pesquería con 29.1 km/h y las estaciones con el mismo valor mínimo fueron NO – Monterrey y NTE2 - San Nicolás de los Garza con 0.1 km/h. En la Figura 8 se muestran los valores de la rapidez durante el mes de octubre.

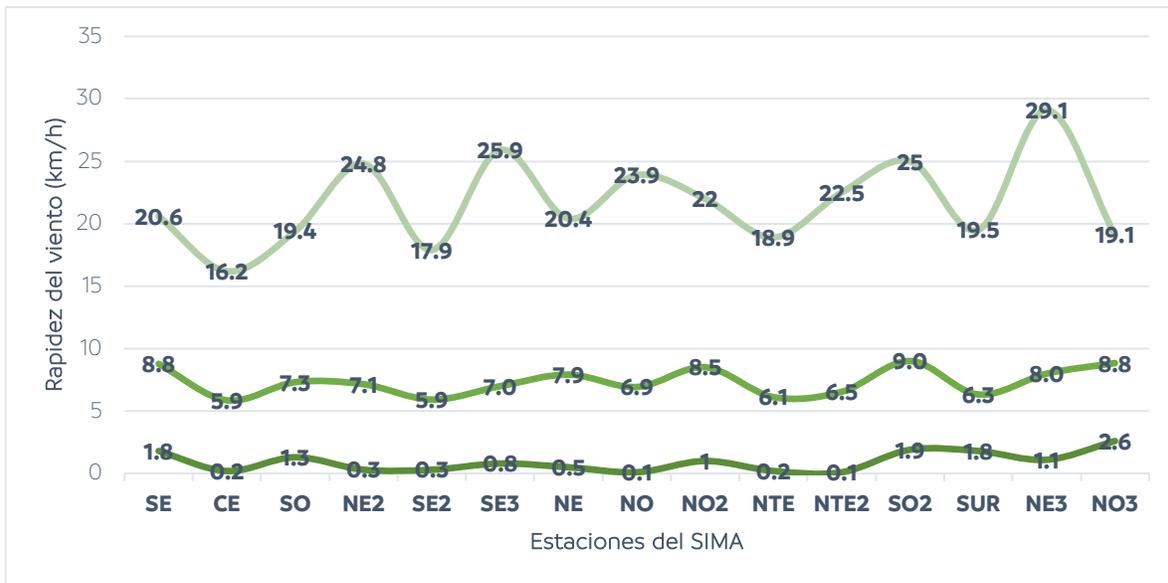
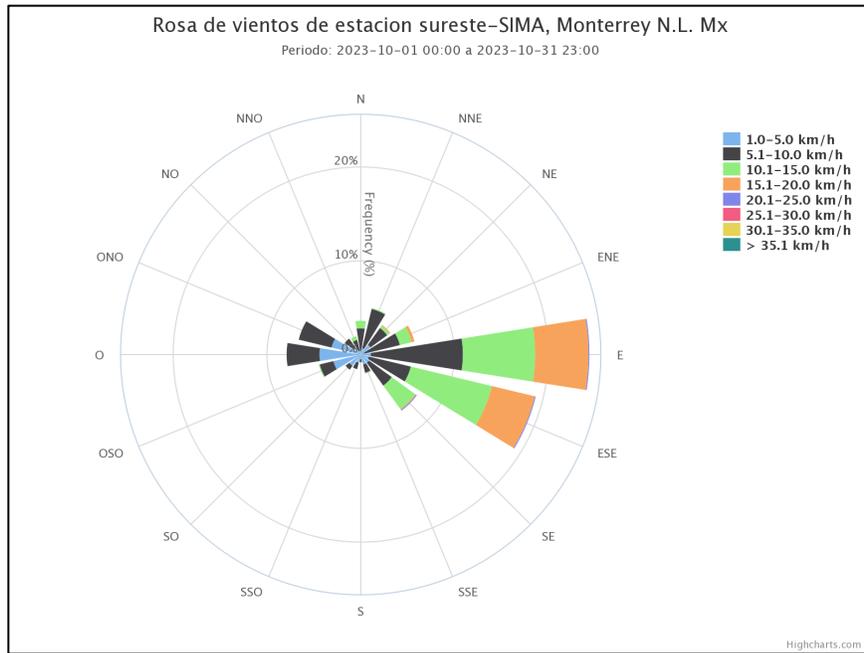


Figura 8. Rapidez del viento para cada estación del SIMA.



Ahora, como complemento de esta información, se presentarán las gráficas en coordenadas polares,  $(r, \theta)$ , en donde la magnitud del vector de la velocidad se representa por  $r$ , mientras que la dirección está dada por  $\theta$ .



**Figura 9.** Distribución de la velocidad en la estación SE.



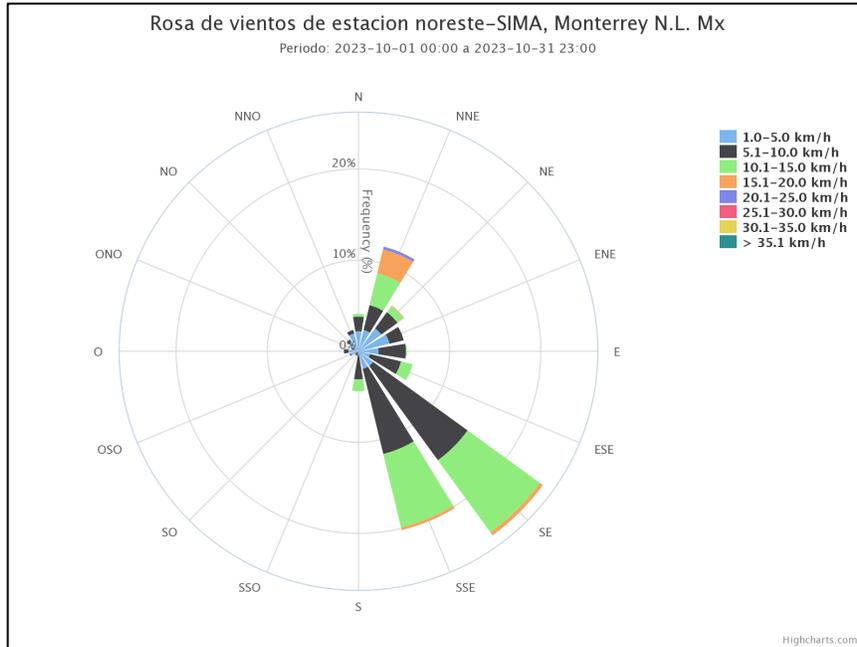


Figura 10. Distribución de la velocidad en la estación NE.

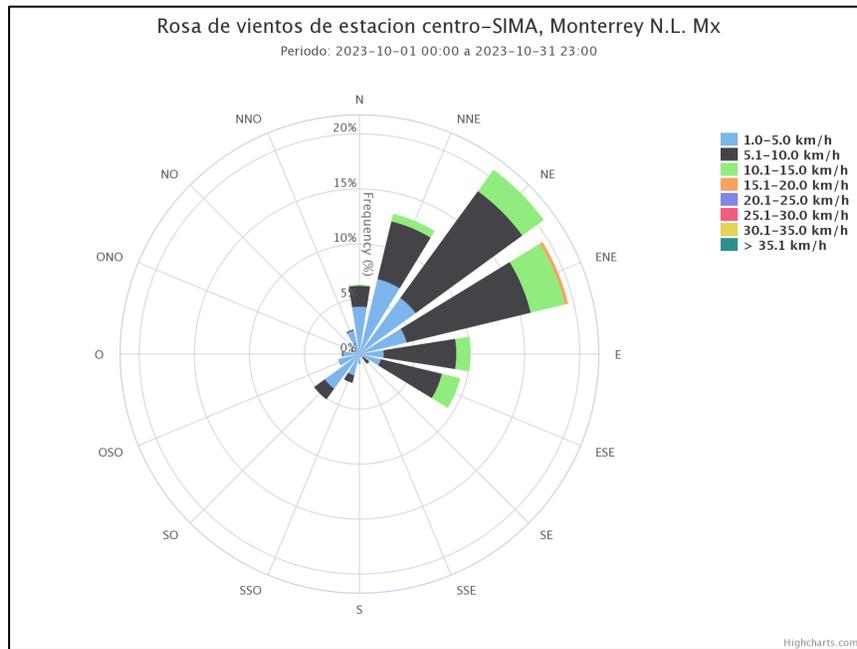


Figura 11. Distribución de la velocidad en la estación CE.



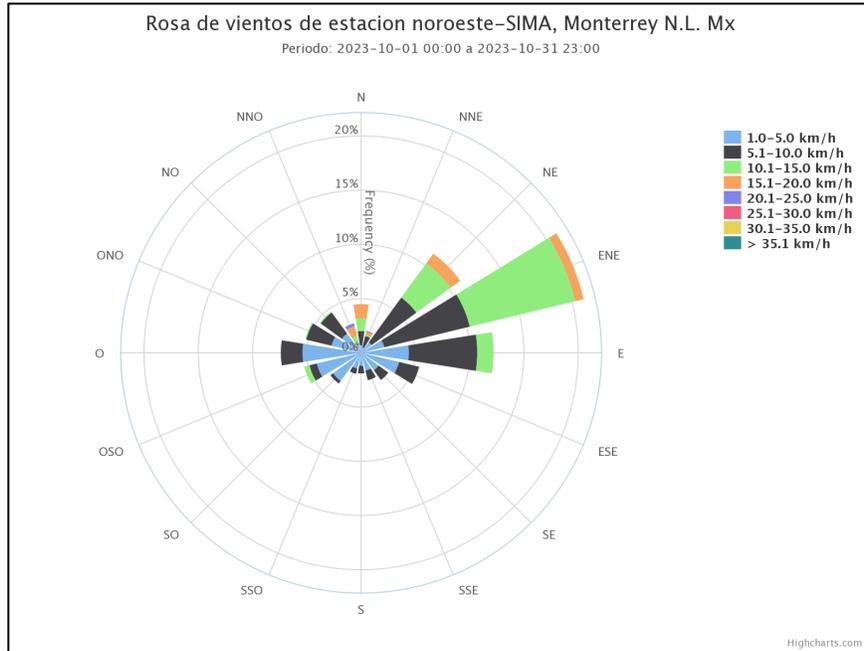


Figura 12. Distribución de la velocidad en la estación NO.

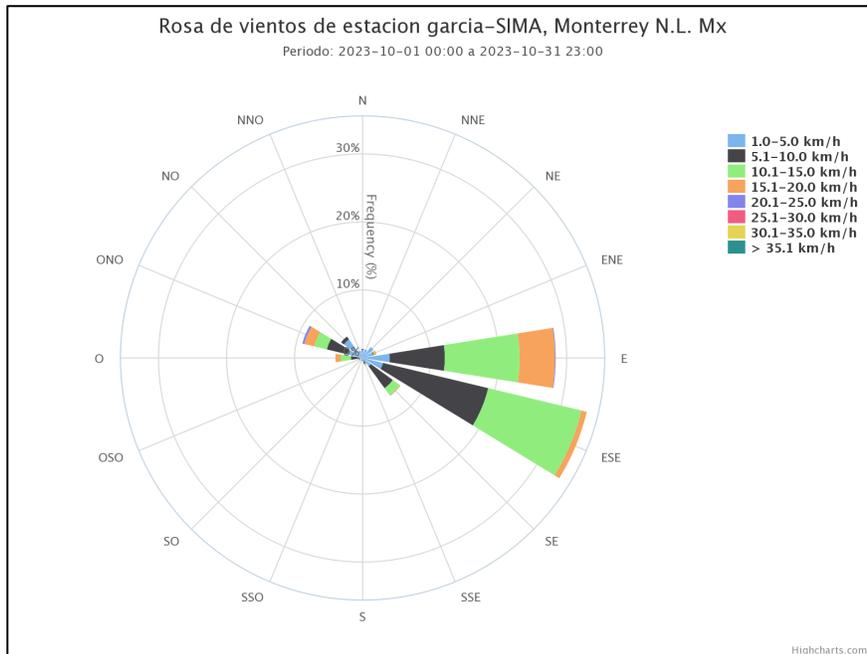


Figura 13. Distribución de la velocidad en la estación NO2.



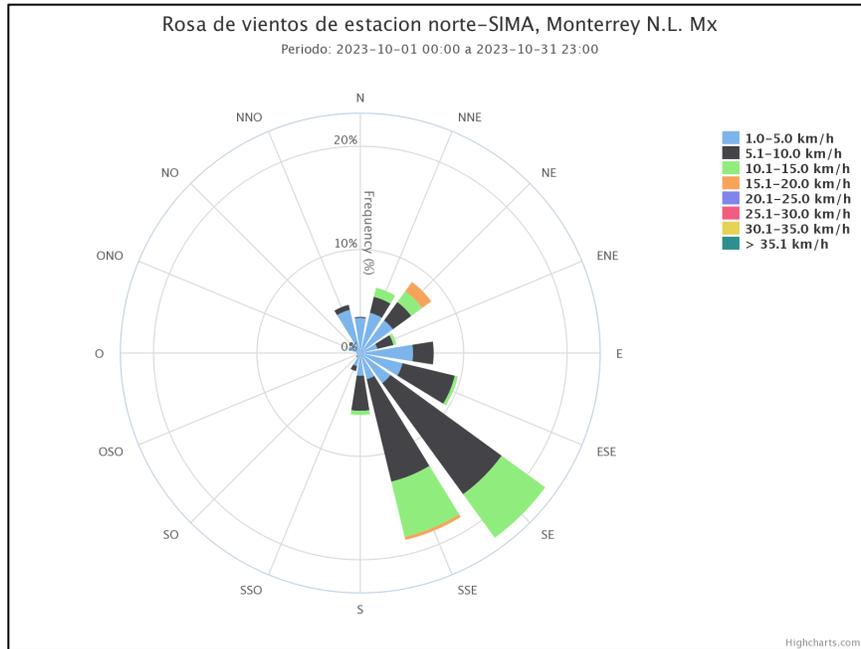


Figura 14. Distribución de la velocidad en la estación NTE.

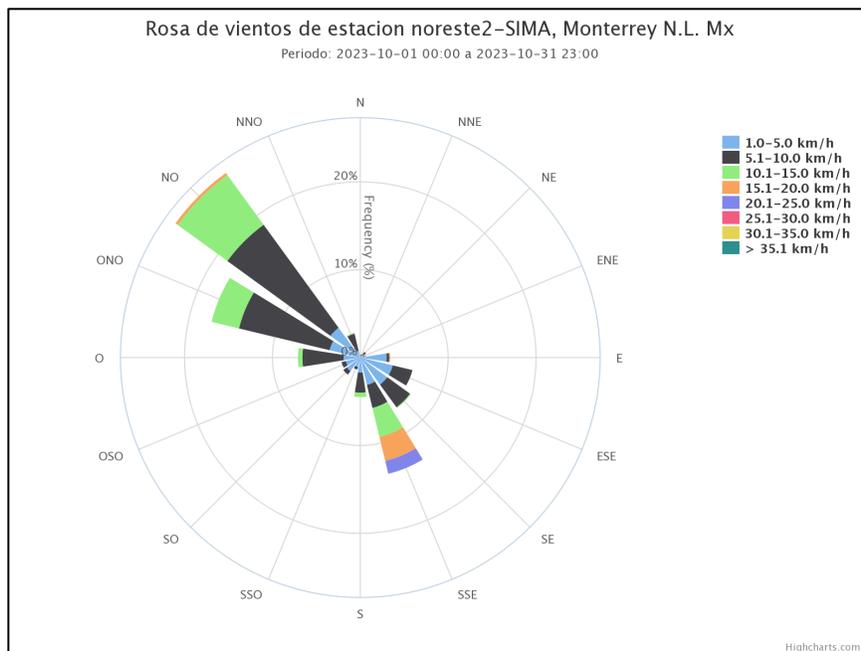


Figura 15. Distribución de la velocidad en la estación NE2.



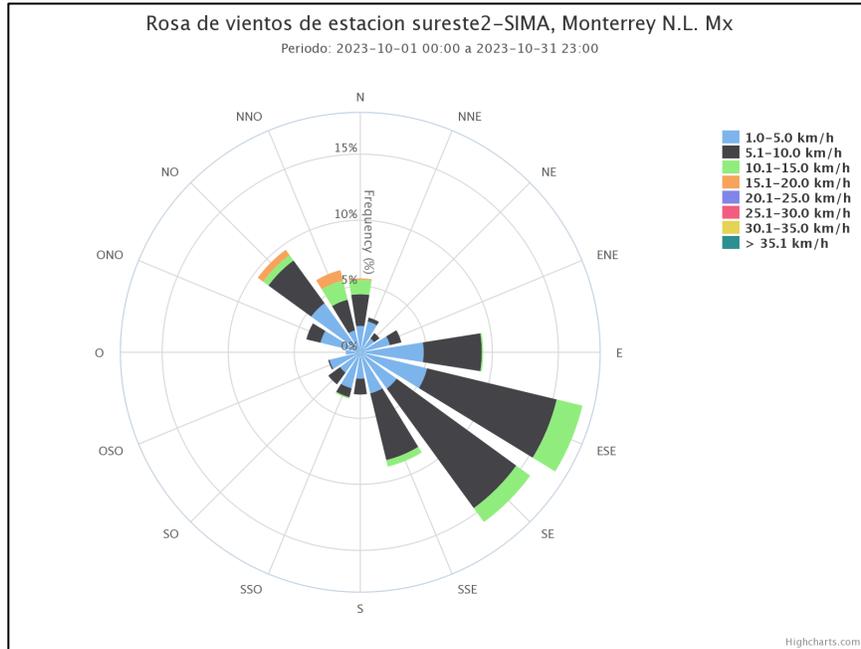


Figura 16. Distribución de la velocidad en la estación SE2.

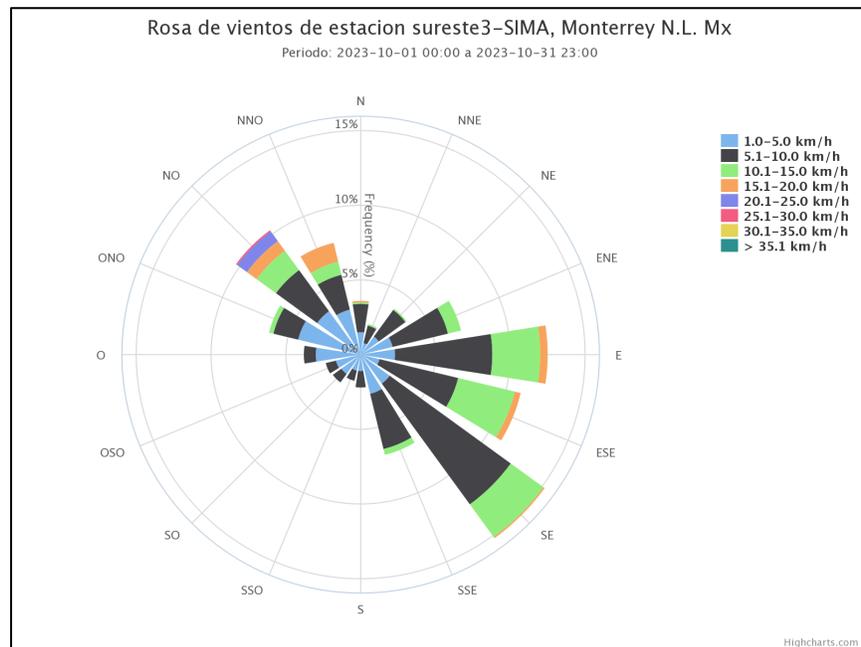
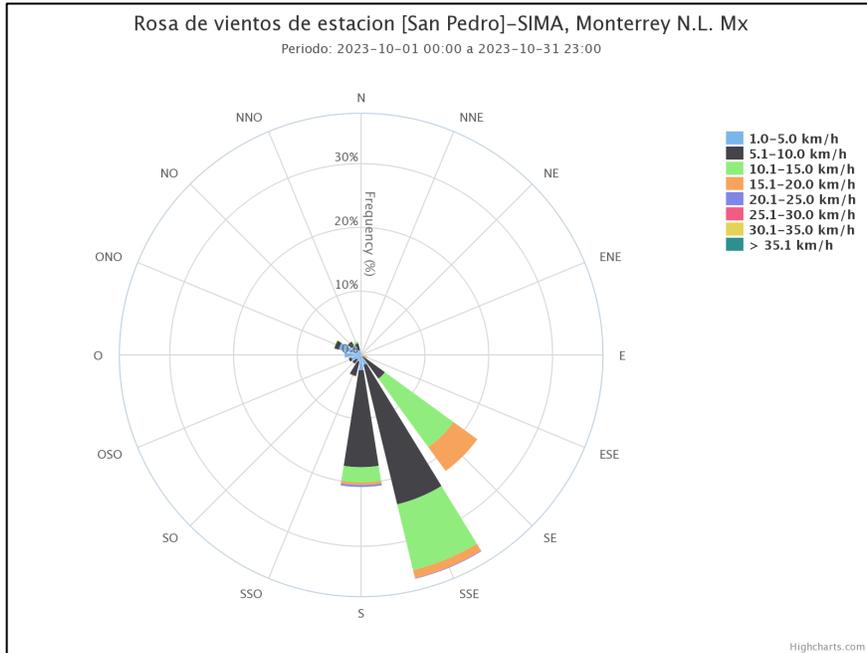
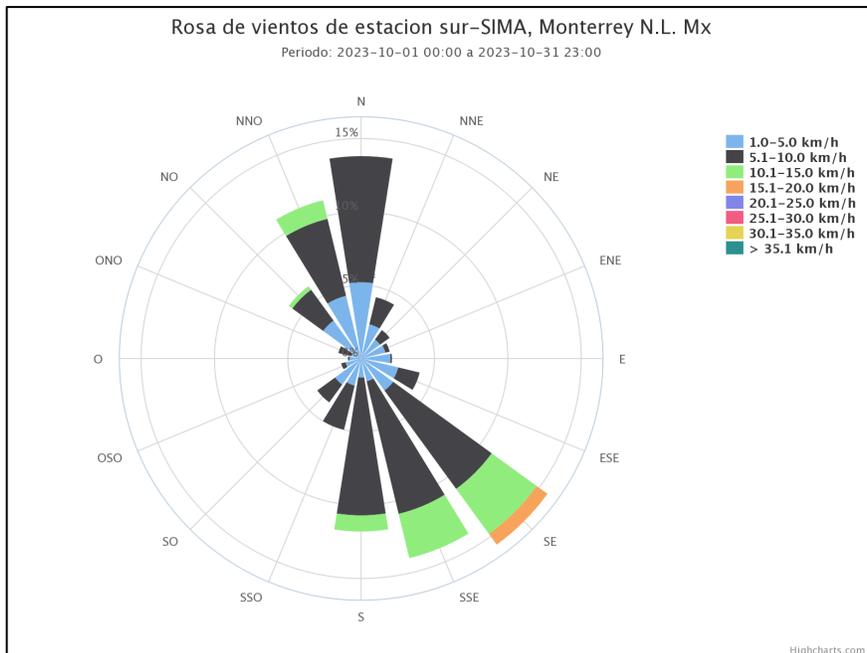


Figura 17. Distribución de la velocidad en la estación SE3.





**Figura 18.** Distribución de la velocidad en la estación SO2.



**Figura 19.** Distribución de la velocidad en la estación SUR.



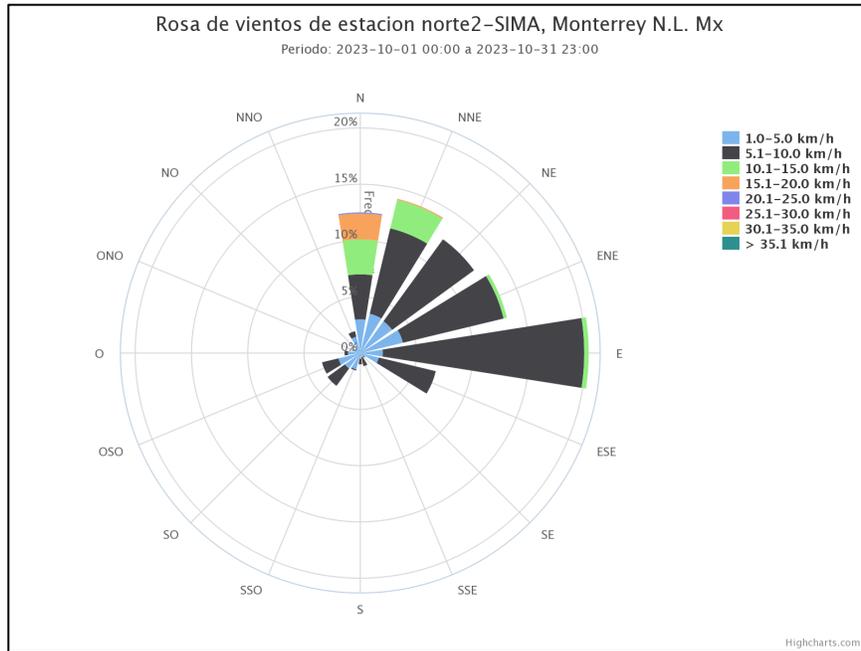


Figura 20. Distribución de la velocidad en la estación NTE2.

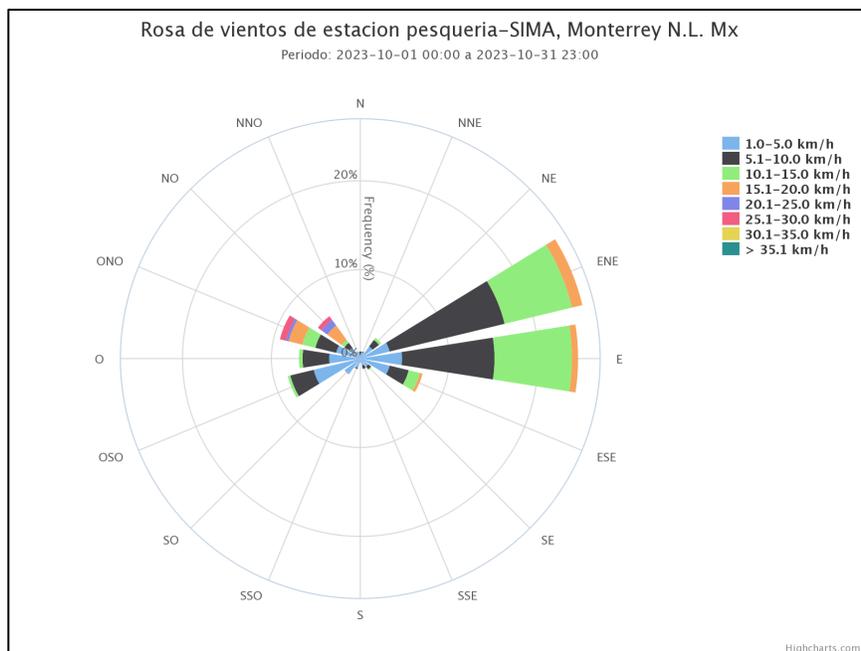


Figura 21. Distribución de la velocidad en la estación NE3.



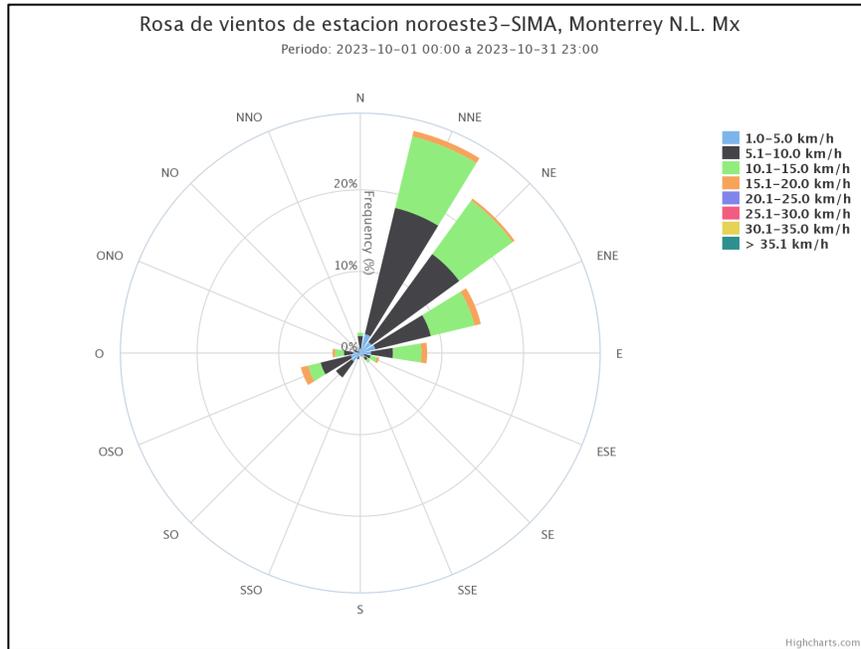


Figura 22. Distribución de la velocidad en la estación NO3.

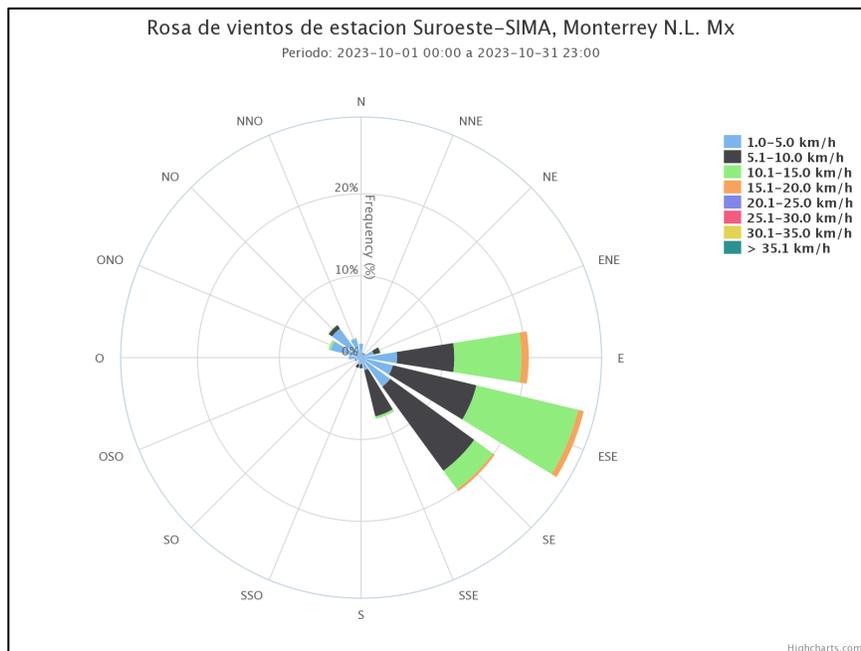


Figura 23. Distribución de la velocidad en la estación SO.





Como pudo observarse, cada gráfico polar o Rosa de los Vientos representa un perfil entrante del viento de acuerdo con las condiciones meteorológicas locales, de manera que las concentraciones contenidas en una masa de aire pueden propiciar buena, regular, mala, muy mala o extremadamente mala calidad del aire.

Para continuar con este reporte, ahora se mostrarán los comportamientos de cada uno de los siguientes contaminantes:  $O_3$ ,  $SO_2$ ,  $CO$ ,  $NO_2$ ,  $NO$ ,  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ .



## Concentraciones de contaminantes criterio

Durante el mes de octubre se midieron aerosoles y gases con equipos de medición que permitieron almacenar datos en tiempo real. En esta sección del reporte, se mostrarán las tendencias para cada uno de los contaminantes, así como una discusión del comportamiento.

Es importante aclarar que en las gráficas que se presentarán hay 3 tendencias, la más alta corresponde al máximo valor registrado, la más baja corresponde al mínimo valor registrado y la que está entre las dos, representa el valor medio de cada conjunto de datos.

A manera de resumen, en la Tabla 6 se muestra la estadística descriptiva por contaminante.

**TABLA 6**

Parámetros estadísticos de cada contaminante

| Contaminante            | Unidad de concentración | Promedio mensual | Desviación estándar | Valor máximo | Valor mínimo |
|-------------------------|-------------------------|------------------|---------------------|--------------|--------------|
| <b>O<sub>3</sub></b>    | ppb**                   | 26               | 16                  | 139          | 3            |
| <b>SO<sub>2</sub></b>   | ppb                     | 3.152            | 1.748               | 77.800       | 0.500        |
| <b>NO<sub>2</sub></b>   | ppb                     | 17.7             | 10.5                | 163.6        | 0.6          |
| <b>NO</b>               | ppb                     | 17.1             | 17.6                | 500.0        | 1.3          |
| <b>CO</b>               | ppm*                    | 0.982            | 0.118               | 4.930        | 0.050        |
| <b>PM<sub>2.5</sub></b> | µg/m <sup>3</sup> ^     | 16               | 10                  | 160          | 2            |
| <b>PM<sub>10</sub></b>  | µg/m <sup>3</sup>       | 52               | 34                  | 434          | 2            |

\* ppm = partes por millón.

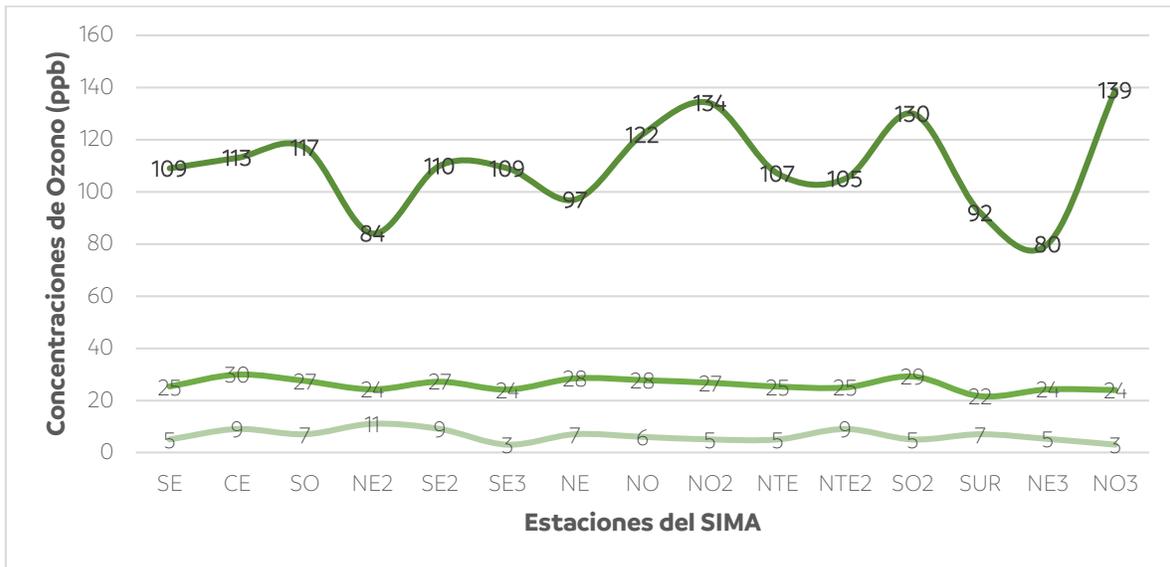
\*\* ppb = partes por billón.

^ µg/m<sup>3</sup> = microgramo por metro cúbico



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

El ozono es un compuesto que se forma ante condiciones de radiación UV separando moléculas de oxígeno, se encuentra en la atmósfera. Durante las mediciones realizadas en el mes de octubre, el valor más alto se detectó en la Estación NO3 - García con 139 partes por billón, ppb. Para el valor más bajo, el cual fue de 3 ppb, se midió en dos estaciones las cuales son: SE3 - Cadereyta y NO3 – García. En la Figura 24 se muestran las tendencias de este contaminante.



31

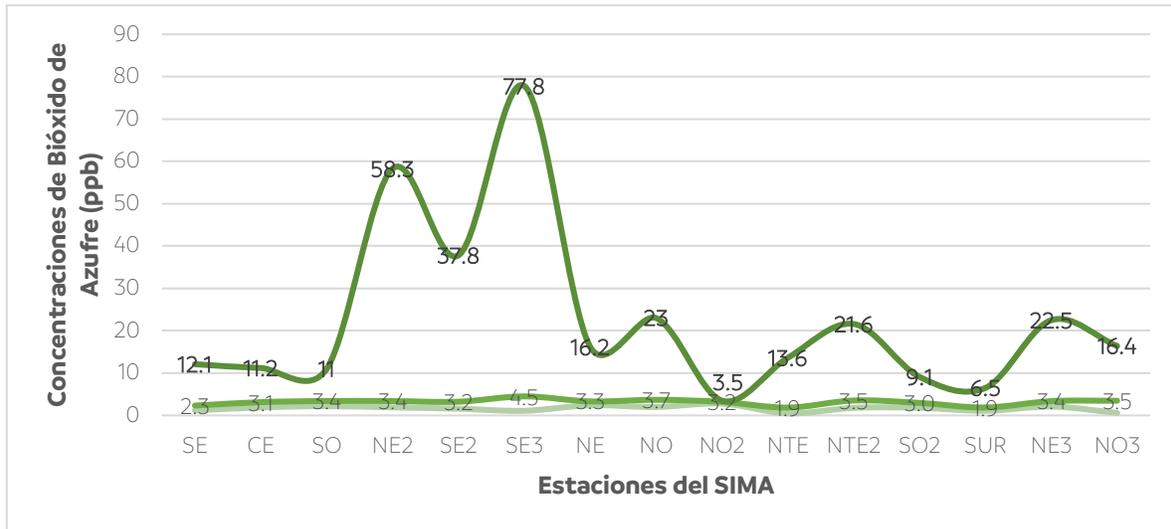
**Figura 24.** Comportamiento mensual del ozono en la ZMM.



## Bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)

Para el caso del bióxido de azufre, el dato promedio fue de 3.15 ppb, el dato máximo fue medido en la estación SE3 – Cadereyta con un valor de 77.8 ppb y el dato mínimo fue de 0.5 ppb medido en la estación NTE en Escobedo. En la Figura 25 se muestra la concentración del SO<sub>2</sub> para cada una de las estaciones del SIMA.

En la gráfica solamente se muestran los valores del promedio mensual por estación y el valor máximo para cada una de ellas.



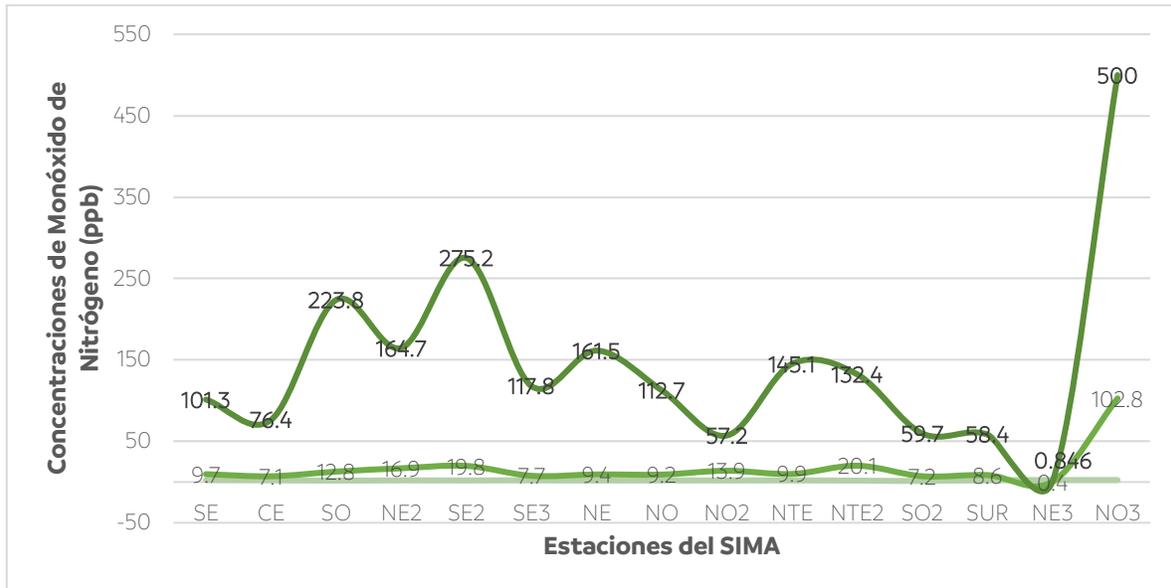
**Figura 25.** Comportamiento mensual del bióxido de azufre en la ZMM.



## Monóxido de Nitrógeno (NO)

La Figura 26 muestra las concentraciones del NO, en ella la concentración promedio fue de 17.1 ppb; el dato máximo fue de 500 ppb medido en la estación NO3 – Misión de San Juan en García y el dato mínimo se midió en la estación SO2 – San Pedro con un valor de 1.3 ppb.

En la gráfica solamente se muestran los valores del promedio mensual por estación y el valor máximo para cada una de ellas.



**Figura 26.** Comportamiento mensual del monóxido de nitrógeno en la ZMM.



## Bióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>)

Para este contaminante, el valor promedio fue de 17.7 ppb, la medición máxima fue de 163.6 ppb obtenida en la estación NO en Monterrey y el valor mínimo fue medido en la estación SE2 del municipio de Juárez con un valor de 0.6 ppb. El comportamiento mensual para cada estación se muestra en la Figura 27.

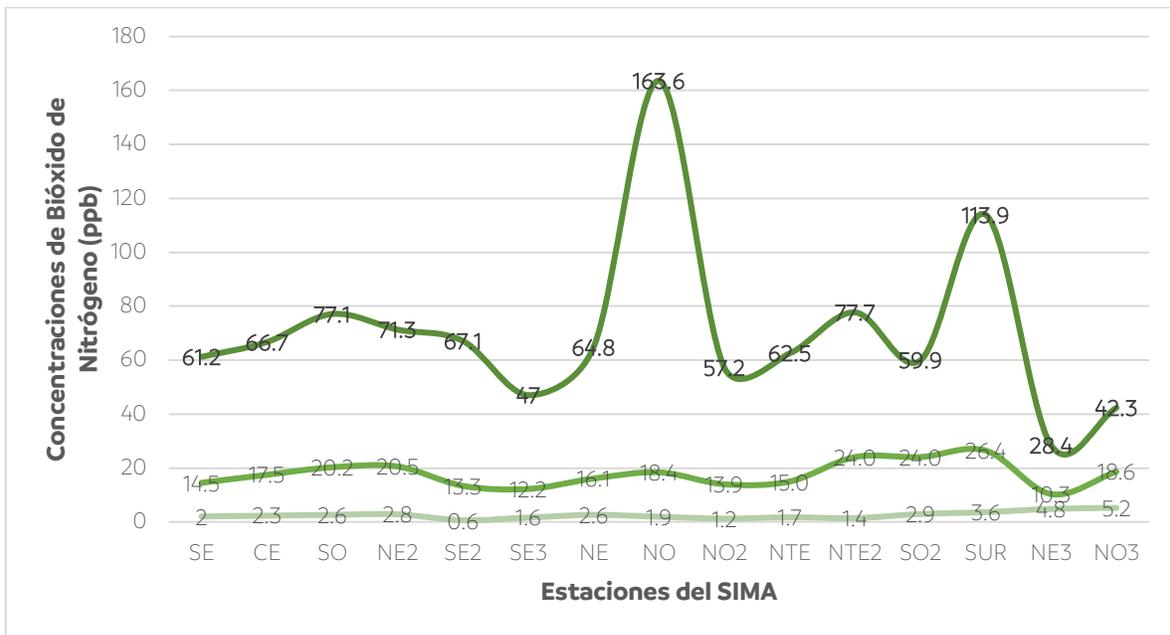


Figura 27. Comportamiento mensual del bióxido de nitrógeno en la ZMM.



## Monóxido de Carbono (CO)

El valor promedio del monóxido de carbono fue de 0.98 ppm, el máximo dato registrado fue de 4.93 ppm medido en la estación SE2 en Juárez y el dato mínimo fue de 0.05 ppm medido en las estaciones SE3 de Caderyta y NO3 en García. En la Figura 28 se despliegan los datos del monóxido de carbono.

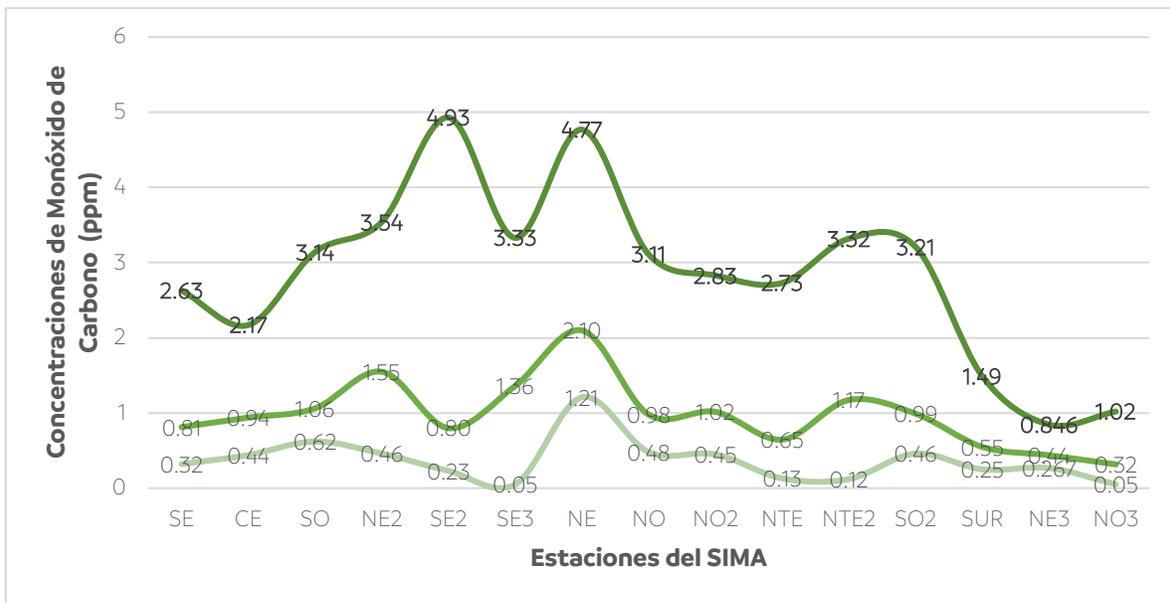


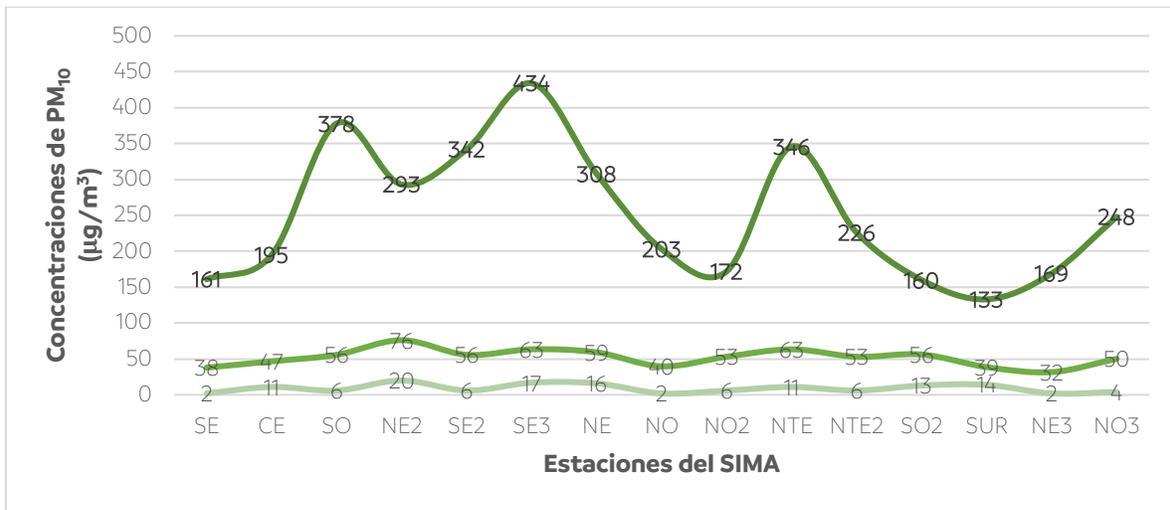
Figura 28. Comportamiento mensual del monóxido de carbono en la ZMM.



## Material Particulado (PM<sub>10</sub>)

El material particulado, sólido, con dimensiones en micrómetros, específicamente hablando, PM<sub>10</sub>, donde el número entero 10, corresponde a una cota superior a los 10  $\mu\text{m}$  es un contaminante que resulta de las especies primarias y secundarias de los procesos de combustión o del suelo. En esta sección, se presentará el comportamiento de esta fracción sólida para cada estación del SIMA.

En la gráfica de la Figura 29 se muestran los datos: máximo, media y mínimo. Para este caso, el máximo fue de 434  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  medido en la estación SE3, el valor promedio fue de 52  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y el dato mínimo fue de 2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  medido en las estaciones SE, NO Y NE3.

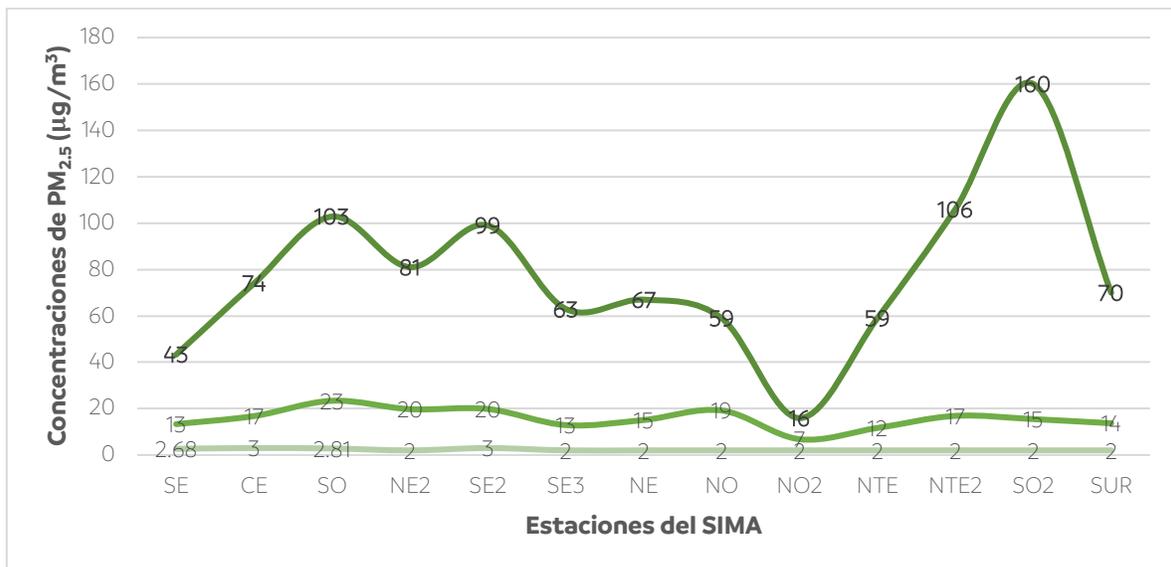


**Figura 29.** Comportamiento mensual de PM<sub>10</sub> en la ZMM.



## Material Particulado (PM<sub>2.5</sub>)

De la misma manera que la fracción de 10 micrómetros, otro de los contaminantes sólidos dentro de la normatividad ambiental, es el material particulado PM<sub>2.5</sub>. En donde se ha mostrado su comportamiento mensual en la Figura 30. En esta gráfica, la media fue de 16  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , el dato máximo fue de 160  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  medido en la estación SO2 de San Pedro y el dato mínimo fue de 2 medido para las estaciones: NE2, SE3, NE, NO, NO2, NTE, NTE2, SO2 y SUR. Las estaciones NE3 – Pesquería y NO3 – Misión de San Juan no midieron este contaminante.



**Figura 30.** Comportamiento mensual de PM<sub>2.5</sub> en la ZMM.



## Cumplimiento de Normas Mexicanas y Programa de Respuesta a Contingencias Atmosféricas

Utilizando las mediciones de los contaminantes criterio, se realizó un cálculo de los días que sobrepasaron las Normas Oficiales Mexicanas las cuales establecen los Límites Máximos Permisibles, LMP, de los contaminantes criterio. Por otra parte, empleando los criterios para la activación del Programa de Respuesta a Contingencias Atmosféricas, PRCA, se muestran los episodios de activación en la Zona Metropolitana de Monterrey para el mes de octubre.

### Cumplimiento de las Normas Mexicanas

En la Figura 31 se pueden observar los días en los cuales el contaminante supero la norma, para este caso en 17 días fueron sobrepasados para PM<sub>10</sub>, 4 días para PM<sub>2.5</sub>, 6 días para el O<sub>3</sub> y un día para NO<sub>2</sub> para el resto de los contaminantes (SO<sub>2</sub> y CO) no existieron concentraciones superiores al límite establecido.

38

Una nota importante es que el dióxido de azufre, SO<sub>2</sub>, se obtiene a partir de una metodología anual, por tanto, no se toma en cuenta para los días en los cuales se tuvieron concentraciones por encima, en al menos una norma, para este analito.

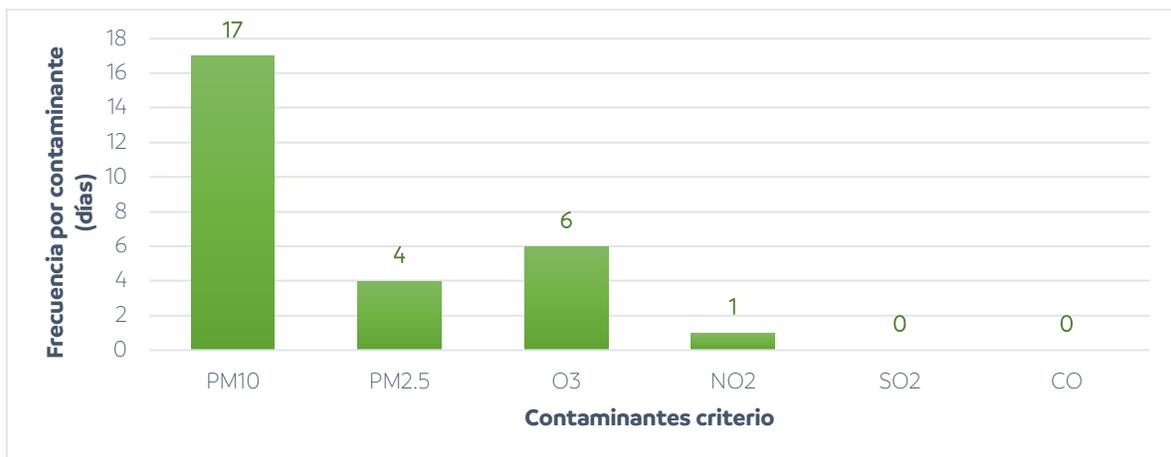


Figura 31. Días sobre la norma por contaminante.



## Programa de Respuesta a Contingencias Atmosféricas, PRCA

En cuanto al Programa de Respuesta a Contingencia Atmosférica, el **20 de octubre de 2023** se presentó una **ALERTA** debido a altas concentraciones de partículas menores a 10 micrómetros,  $PM_{10}$ , en la Zona Metropolitana de Monterrey, ZMM.

Las altas descargas de concentraciones de esta fracción sólida generadas por la Refinería de PEMEX, en el municipio de Cadereyta, se transportaron hacia el Noroeste de la ZMM; adicionalmente, las condiciones meteorológicas como la temperatura, humedad relativa y la velocidad del viento impactaron negativamente en la acumulación y estancamiento por horas en los municipios de Juárez y Apodaca.

