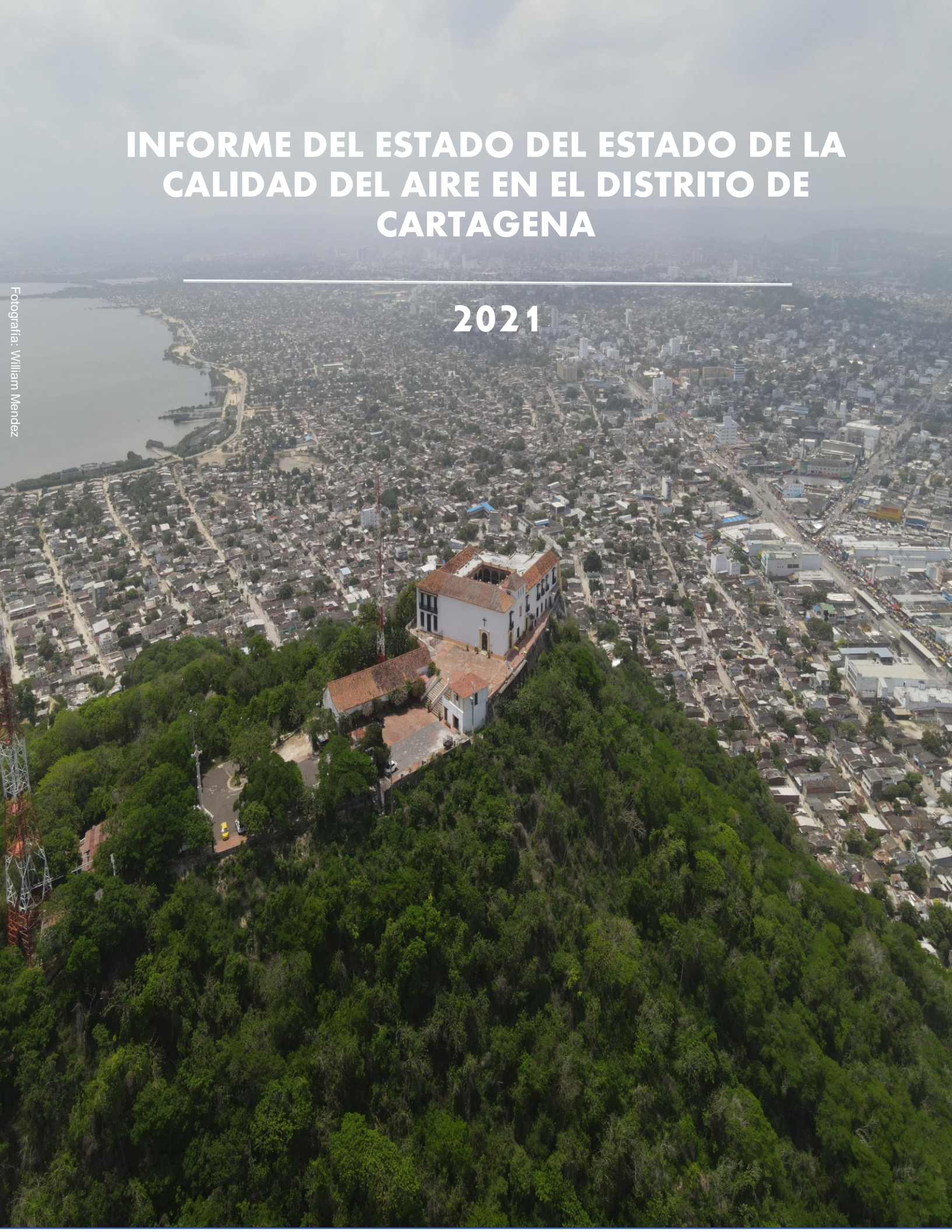


INFORME DEL ESTADO DEL ESTADO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL DISTRITO DE CARTAGENA

2021



CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. OBJETIVOS.....	6
2.1. Objetivos específicos.....	6
3. GENERALIDADES.....	9
4. RESULTADOS DE LOS MONITOREOS DE LA CALIDAD DEL AIRE.....	15
4.1. Gráficas de evolución diaria de la concentración del contaminante.....	15
4.2. Promedio anual.....	19
4.3. Porcentaje (%) de Cumplimiento respeto a la norma Resolución 2254 de 2017	22
4.4. Porcentaje de captura de datos.....	26
4.5. Calendario de concentraciones.....	26
4.6. Rosa de contaminantes.....	29
4.7. Conclusiones.....	31

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Características generales del SVCA	10
Tabla 2. Cantidad máxima de datos que se pueden obtener por mes – año.....	14
Tabla 3. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio - Resolución 2254 de 2017	15
Tabla 4 Efectos en la salud según ICA	23
Tabla 5. Punto de corte ICA.....	24
Tabla 6 Porcentaje índice de calidad del aire de las estaciones	25

LISTADO DE GRAFICAS

Gráfica 1. Evolución diaria y horaria de PM2.5 Estación Zona franca.....	16
Gráfica 2. Evolución diaria y horaria de PM10 Estación Zona franca.....	17
Gráfica 3. Evolución octahoraria O ₃ en el año- estación Zona franca año 2021	18
Gráfica 4. Evolución octahoraria O ₃ en el año- estación Cardique año 2021	18
Gráfica 5. Promedio anual PM2.5 Estación Zona franca	19
Gráfica 6. Promedio anual PM10 Estación Zona franca	19
Gráfica 7. Promedio octahorario anual de O ₃ Zona franca.....	20
Gráfica 8. Resumen estadístico PM2.5, PM10 y O ₃ - Estación Zona Franca y Cardique .	21
Gráfica 9. Porcentaje (%) Cumplimiento Res. 2254 de 2017	22
Gráfica 10. Porcentaje Índice de calidad del aire de la estaciones	25
Gráfica 11. Porcentaje de captura de datos.....	26
Gráfica 12. Calendario de concentraciones PM2.5 Estación Zona franca noviembre	27
Gráfica 13. Calendario de concentraciones PM 10 Zona franca Noviembre	27
Gráfica 14. Calendario de concentraciones O ₃ Zona franca Diciembre	28
Gráfica 15. Calendario de concentraciones O ₃ Cardique Diciembre	28
Gráfica 16. Rosa de contaminante PM 2.5 estación Zona franca	29
Gráfica 17. Rosa de contaminantes PM 10 estación Zona Franca	29
Gráfica 18. Rosa de contaminantes O ₃	30

LISTADO DE IMAGENES

Imagen 1. Contaminación del aire, efectos en la salud humana y el medio ambiente- (PM y NOx)- Fuente: (IDEAM, 2019)	7
Imagen 2. Contaminación del aire, efectos en la salud humana y el medio ambiente (Ozono y SO ₂)- uente: (IDEAM, 2019)	8
Imagen 3. Ubicación geográfica inicial de las estaciones del SVCA	9
Imagen 4. Ubicación Geográfica Estación Zona Franca.....	10
Imagen 5. Ubicación geográfica Estación Policía	11
Imagen 6. Ubicación geográfica Estación Cardique	12

1. INTRODUCCIÓN

Se presentan los resultados de las concentraciones de ozono troposférico (O_3) y material particulado (PM) medidas y reportadas en las estaciones del Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire del Distrito de Cartagena. De manera inicial se presentan generalidades del sistema. Se muestran las estaciones que se encuentran funcionando a la fecha. De igual manera, datos sobre los contaminantes evaluados, condiciones de referencias para el análisis de datos, indicadores del sistema y la normativa nacional vigente. Se exponen los resultados obtenidos de los monitoreos de calidad del aire realizados durante el mes de noviembre en las estaciones Zona Franca (Mamonal) y Cardique. Para analizar la información reportada se realiza la comparación de las concentraciones reportadas con los límites establecidos en la normativa nacional vigente (Resolución 2254 de 2017) y se muestran los calendarios generados del Índice de Calidad de Aire (ICA) y los posibles efectos generados en la salud humana y se realiza una correlación entre el comportamiento del contaminante y la velocidad del viento, lo que permite identificar algunas fuentes de contaminación. Finalmente, se presentan el análisis estadístico realizado con el objetivo de mostrar la validez del análisis de datos realizados y se presentan las conclusiones. Los contaminantes evaluados mantienen la tendencia histórica, presentándose únicamente concentraciones que superan el límite de la normativa en material particulado menor o igual a 10 micras.

En la Imagen 1 e Imagen 2 se muestran los efectos del efecto en el ambiente y la salud humana de los contaminantes atmosféricos, con el objetivo de mostrar la importancia de esta temática.

2. OBJETIVOS

Objetivo general: Verificar el cumplimiento de los niveles máximos permisibles a condiciones de referencia para los contaminantes monitoreados (PM₁₀, PM_{2.5}, O_3) en las estaciones de calidad del aire ubicadas en el distrito de Cartagena según lo establecido en la Resolución 2254 de 2017.

2.1. Objetivos específicos

- Efectuar un análisis del comportamiento de las concentraciones de los contaminantes monitoreados (PM₁₀, PM_{2.5}, O_3) en todas las estaciones.
- Determinar el estado de la calidad del aire con la finalidad de distinguir los riesgos a la salud a los que puede estar expuesta la población.
- Disponer de datos con los cuales activar los procedimientos de control en situaciones de prevención, alerta o emergencias con el fin de tomar medidas integrales de control de contaminación y de reducción de la exposición de los receptores de interés.

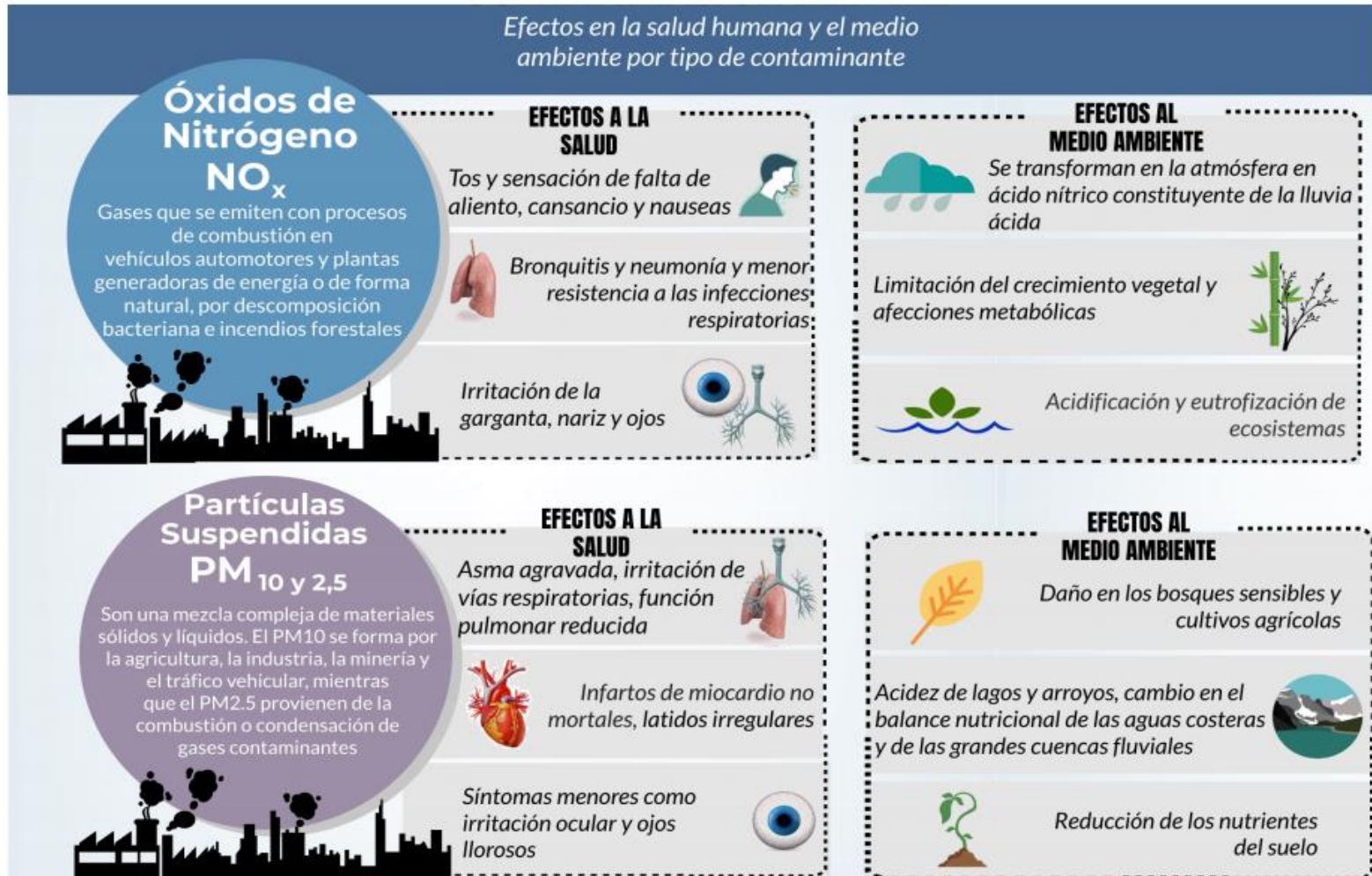


Imagen 1. Contaminación del aire, efectos en la salud humana y el medio ambiente- (PM y NOx)- Fuente: (IDEAM, 2019)

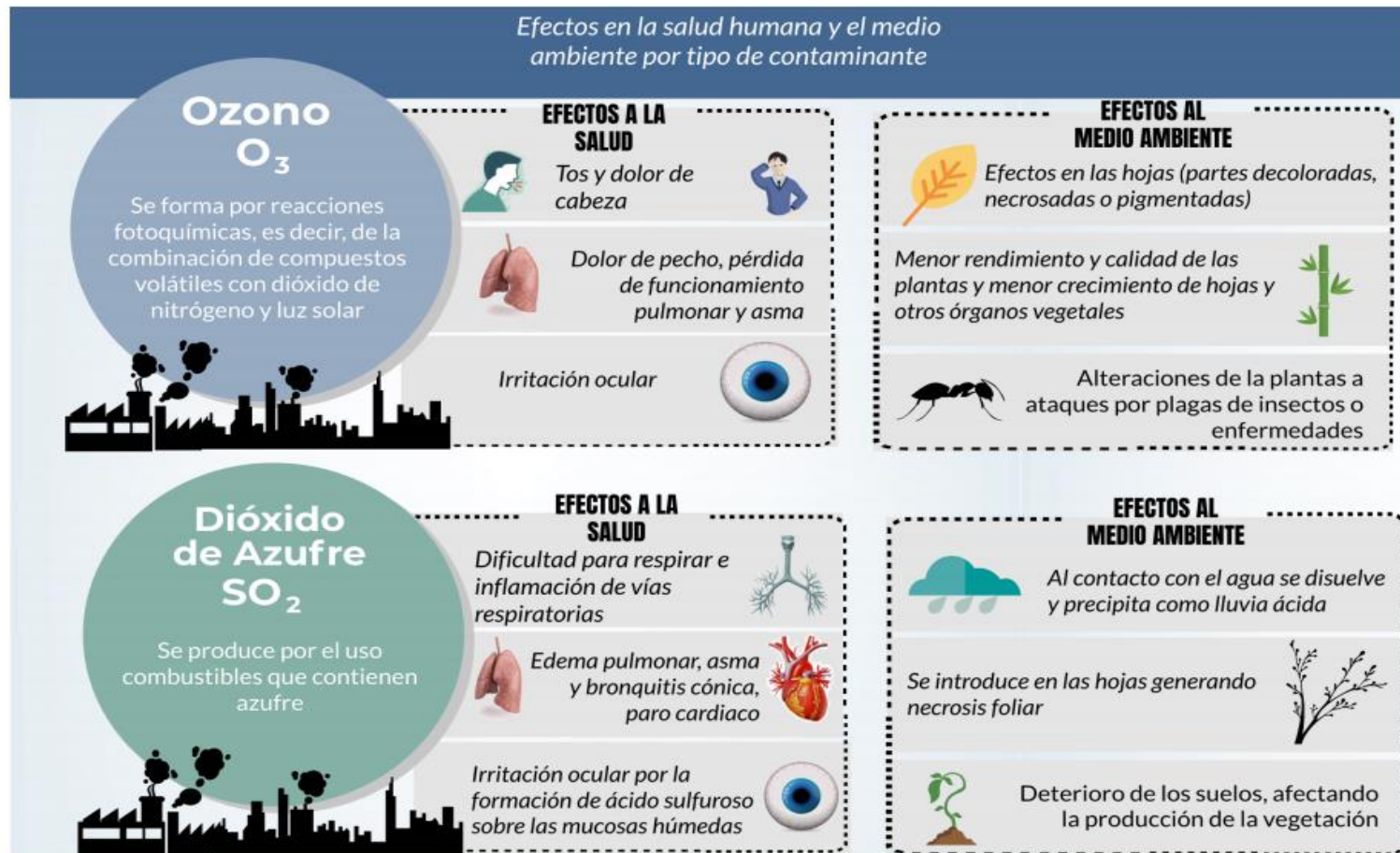


Imagen 2. Contaminación del aire, efectos en la salud humana y el medio ambiente (Ozono y SO_2)- uente: (IDEAM, 2019)

3. GENERALIDADES

El diseño inicial del Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire del Distrito de Cartagena está conformado por seis (6) estaciones. La ubicación inicial de estas estaciones se definió en lugares estratégicos de la ciudad, tal como se muestra en la Imagen 3, así: Base Naval, Zona Franca La Candelaria, Estación de Policía de la localidad 2 (Virgen y Turística), Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique (Cardique), La Bocana y en la antigua sede de esta entidad. Estas estaciones se plantearon considerando la cobertura sobre las áreas de contaminación atmosférica significativa de la ciudad de Cartagena y configuradas para realizar medición de tres contaminantes criterio: PM2.5, PM10 y ozono (O₃).

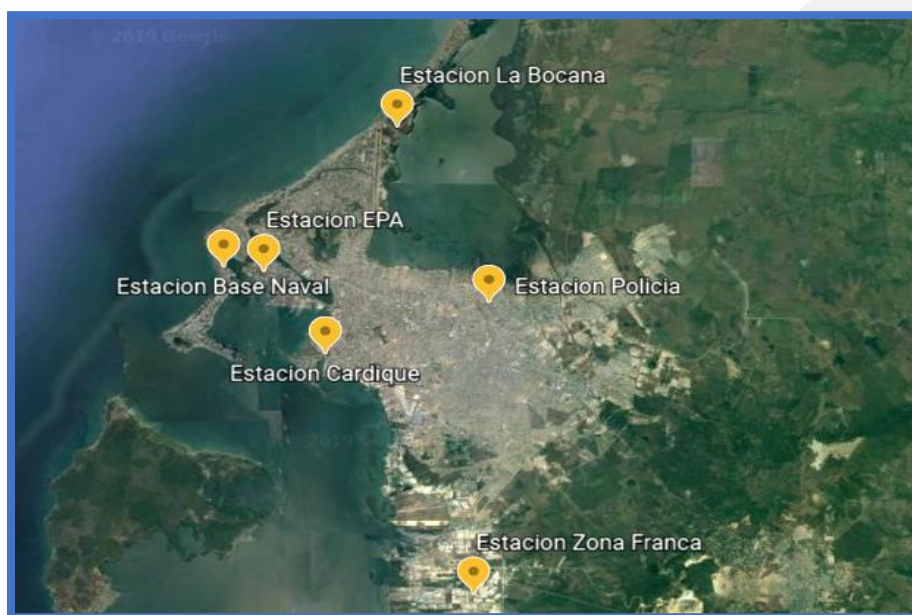


Imagen 3. Ubicación geográfica inicial de las estaciones del SVCA

En los últimos años se han realizado algunos cambios o modificaciones en la estructura del Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire de Cartagena. Algunas estaciones se han sacado de operación. En el año 2018, la estación EPA fue desmantelada por el cambio de sede de la entidad y en el año 2019, la sede Base Naval se sacó de operación por que los equipos se están deteriorando por el efecto de la corrosión debido a la cercanía de esta estación al mar Caribe.

En el marco del plan de acción 2020-2023 del Establecimiento Publico Ambiental de Cartagena se está trabajando en la optimización del sistema mediante la actualización o renovación de las tecnologías de los equipos. A la fecha de entrega de este informe, se encuentran funcionando tres estaciones como se muestra en la Tabla 1. En la estación policía solo están funcionando los sensores de variables meteorológicas.

Tabla 1 Características generales del SVCA

Estación	Ubicación	Ubicación geográfica		Contaminante monitoreado			Tipo de Zona	Tipo de estación	Localización toma de muestra
		Latitud	Longitud	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃			
GT3	Cardique	10°23'29.70"	75°31'30.70"			X	Urbana	Fija/ De fondo	Azotea
GT4	Zona Franca	10°19'35.49"	75°29'21.18"	X	X	X	Urbana	Fija/ Industrial	Nivel del mar
EM1	Policía	10°24'19.91"	75°29'7.78"				Urbana	Fija/ Tráfico	Azotea

A continuación, se encuentra la distribución de las estaciones que se encuentran en funcionamiento, y se describe el entorno que rodea a cada una de ellas.

Estación Zona Franca La Candelaria (Mamonal): Ubicada al occidente de la ciudad en las instalaciones de la empresa FEPCO en el parque industrial de Mamonal (Ver Imagen 4). Por ser Mamonal un sector donde se ubican muchas empresas del sector industrial se estableció como una estación fija de gran importancia para el SVCA de Cartagena. En esta estación se busca medir las emisiones de contaminantes provenientes de los procesos industriales y de las vías que presentan un alto tráfico de vehículos de categoría pesada. Al estar en un entorno abierto con pocas edificaciones de gran altura, se da una mayor dispersión de los contaminantes que, por efectos del viento, pueden viajar hasta zonas aledañas residenciales, exponiendo la salud de las poblaciones más próximas, actualmente se encuentra en funcionamiento.

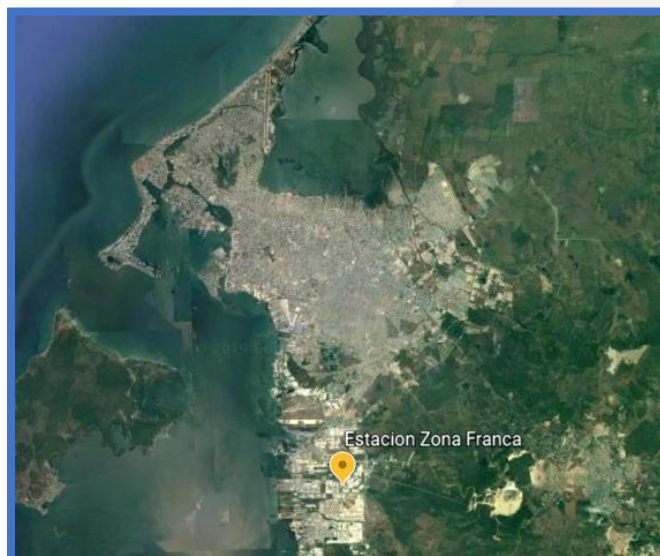


Imagen 4. Ubicación Geográfica Estación Zona Franca

Estación Policía: Ubicada al centro de la ciudad cerca a la ciénaga de la virgen (Ver Imagen 5), en la azotea del Comando de Atención Inmediata del Barrio Olaya Herrera. Esta estación se encuentra rodeada de sectores residenciales, donde habitan la mayor parte de la población cartagenera, por lo tanto, hay una alta densidad poblacional expuesta a las emisiones provenientes del tráfico vehicular, vías destapadas y actividades comerciales generadoras de contaminación atmosférica tales como carpinterías, tintorerías, talleres automotrices, aserraderos, restaurantes y asaderos al aire libre. En el momento de la presentación de este informe en esta estación solo se está generando información de variables meteorológicas.

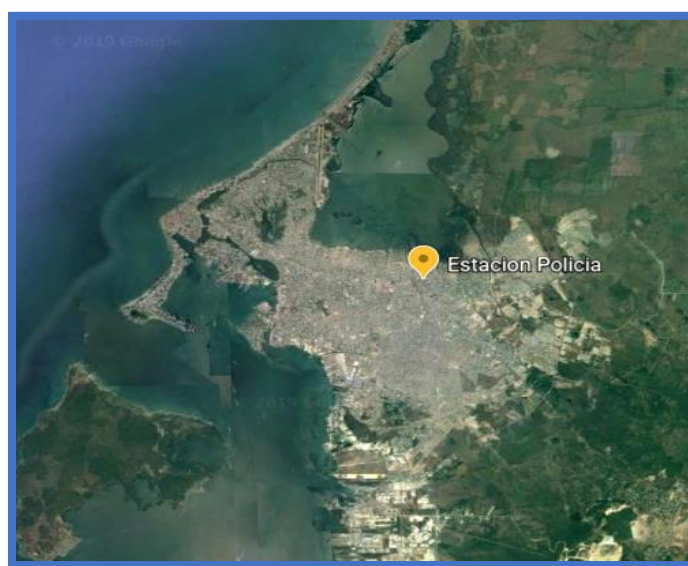


Imagen 5. Ubicación geográfica Estación Policía

Estación Cardique: Ubicada al occidente de la ciudad en la azotea de las instalaciones de Cardique en el Barrio Bosque en la isla de Manzanillo (Ver Imagen 6). Esta estación es fija de fondo urbano. El entorno se caracteriza por tener una vía utilizada como corredor de carga, por la cual transitan vehículos de carga pesada, además está influenciada por las emisiones de las empresas industriales y de otro tipo que operan en el sector y su cercanía al mar.

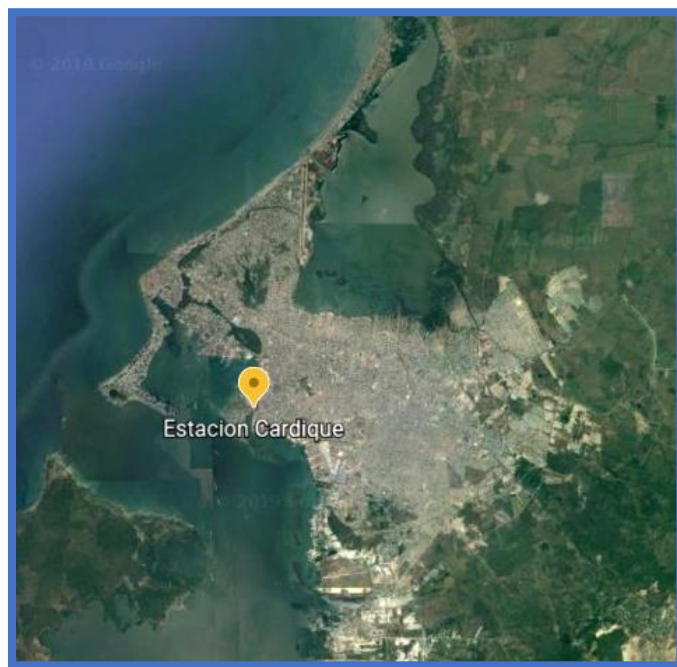


Imagen 6. Ubicación geográfica Estación Cardique

Contaminantes evaluados: Los contaminantes evaluados en el Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA) del Distrito de Cartagena son Ozono Troposférico (O_3), PM10 y PM2.5. A continuación, se definen cada uno de los contaminantes evaluados por el SVCA Cartagena para tener una mayor claridad sobre la definición de cada uno y a partir de que se originan.

- Ozono Troposférico (O_3): El ozono es un contaminante secundario, es decir, no emitido directamente a la atmósfera por una fuente, sino formado a partir de reacciones fotoquímicas (activadas por la luz solar) entre contaminantes primarios. Se forma ozono cuando coexisten los óxidos de nitrógeno (NO_x), los compuestos orgánicos volátiles (COVs) y una radiación solar intensa a lo largo de un periodo de tiempo lo bastante largo (un mínimo de diversas horas). Así, la época típica de los máximos de ozono coincide con la primavera y el verano. Los principales precursores del ozono (NO_x y COV) se emiten de manera natural o como consecuencia de las actividades humanas.¹
- Material particulado: El material particulado se forma mediante la mezcla de partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire y que pueden ser de origen orgánico e inorgánico, dentro de los cuales se pueden encontrar nitratos, sulfatos, carbón, cenizas metálicas, partículas de agua y polvo mineral.

¹ Tomado de <https://mediambient.gencat.cat/>

Material particulado menor o igual a 2,5 micras (PM_{2,5}): Material particulado con un diámetro aerodinámico menor o igual a 2,5 micrómetros nominales.

Material particulado menor o igual a 10 micras (PM₁₀): Material particulado con un diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micrómetros nominales. El PM₁₀ representa la masa de las partículas que entran en el sistema respiratorio, y además incluye tanto las partículas gruesas de un tamaño comprendido entre 2,5 y 10µm como las finas de menos de 2,5 µm.

Las primeras se forman básicamente por medio de procesos mecánicos, como obras de construcción, resuspensión del polvo en vías y el viento, mientras que las segundas proceden sobre todo de fuentes de combustión. En la mayor parte de los entornos urbanos están presentes ambos tipos de partículas, gruesas y finas, pero la proporción correspondiente a cada uno de los dos tipos de tamaños es probable que varíe de manera sustancial entre ciudades en todo el mundo, en función de la geografía, la meteorología y las fuentes específicas de material particulado de cada lugar (Guías de calidad del aire de la OMS, relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre; actualización mundial, 2005).

Condiciones de referencia: Los datos obtenidos directamente de los equipos a condiciones locales ((C_i)) son expresados bajo condiciones de referencia (25 °C y 760 mmHg), empleando la siguiente expresión:

$$(C_i)_{st} = \frac{(P)_{st} \cdot PM_i \cdot R \cdot (T)_j}{R \cdot (T)_{st} \cdot (P)_j \cdot PM_i} \cdot (C_i)_j$$

Dónde:

(C_i)_j: Concentración del contaminante *i* en la región o ciudad *j*

(P)_j: Presión en la región o ciudad *j*, es decir la condición local de presión

(T)_j: Temperatura en la región o ciudad *j*, es decir la condición local de temperatura

PM_i: Peso molecular del contaminante medido

R: Constante de los gases ideales (8.314 m³.Pa/kmol.K ≈ 0.082 l.atm/mol.K)

Esta ecuación se utiliza en el procesamiento de datos y de análisis estadístico de la información generada.

Indicadores del Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire de Cartagena (captura de datos):

Porcentaje de capturas de datos: El porcentaje de captura de datos se establece con la cantidad máxima de datos que se pueden obtener en un periodo determinado y la cantidad de datos recolectados durante ese mismo periodo.

$$\%Cap - datos = \frac{d}{N} \cdot 100$$

Dónde:

%Cap. datos: Valor numérico que indica el desempeño del equipo, en relación con la cantidad de datos entregados a la central de información.

d: Número total de datos reportados por el equipo durante el periodo de tiempo definido.

N: Número de datos máximos posibles reportados en el periodo de tiempo definido.

Considerando que el porcentaje de datos válidos empleados en la realización de los correspondientes cálculos de promedios, comparaciones con la norma de calidad de aire y estimación del número de excedencias no sea inferior al 75%, la cantidad máxima de datos que se pueden obtener en un periodo determinado para el presente año son:

Tabla 2. Cantidad máxima de datos que se pueden obtener por mes – año

Mes	Días	Horas	75% horas
Enero	31	744	558
Febrero	28	672	504
Marzo	31	744	558
Abril	30	720	540
Mayo	31	744	558
Junio	30	720	540
Julio	31	744	558
Agosto	31	744	558
Septiembre	30	720	540
Octubre	31	744	558
Noviembre	30	720	540
Diciembre	31	744	558
Año	365	8760	6570

Normatividad vigente: El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en ejercicio de sus funciones legales y conferidas, teniendo en cuenta los numerales 79 y 80 consagrados en la constitución política de Colombia y el decreto - ley 2811 de 1974 en su artículo 8, y en atención a que la contaminación del aire es uno de los factores que deterioran el ambiente y que por ende tiene una repercusión sobre la salud humana, establece la **Resolución 2254 del 2017**. Esta es la norma de calidad del aire en la cual están definidos los niveles máximos permisibles de contaminantes de la calidad del aire (niveles de inmisión) en Colombia. Bajo esta normativa se rige el SVCA Cartagena. A continuación, se realizan las comparaciones de las mediciones efectuadas durante el mes y se evalúa el estado del aire en el distrito. En la Tabla 3 se presentan los niveles máximos permisibles de contaminantes en condiciones de referencia.

Tabla 3. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio - Resolución 2254 de 2017

Contaminante	Nivel máximo Permissible (μ/m^3)	Tiempo de Exposición
PM10	50	Anual
	75	24 horas
PM2.5	25	Anual
	37	24 horas
SO ₂	50	24 horas
	100	1 hora
NO ₂	60	Anual
	200	1 hora
O ₃	100	8 horas
CO	5.000	8 horas
	35.000	1 hora

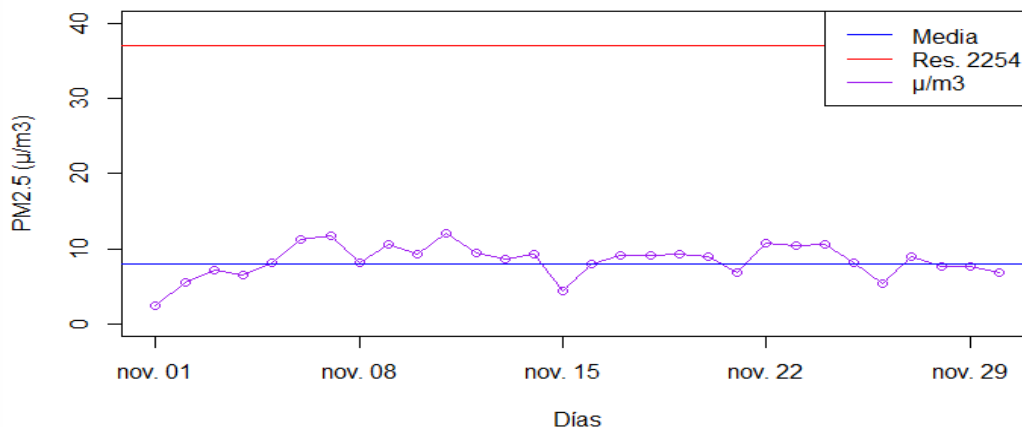
4. RESULTADOS DE LOS MONITOREOS DE LA CALIDAD DEL AIRE

4.1. Gráficas de evolución diaria de la concentración del contaminante

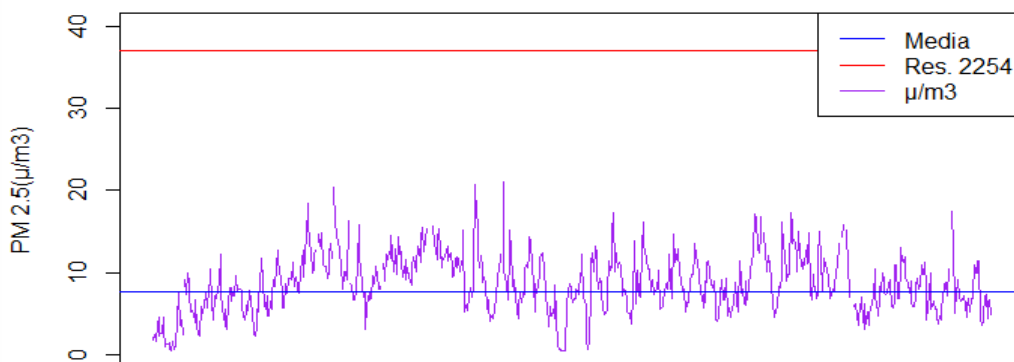
Material particulado (PM10 y PM2.5): En la Gráfica 1 se evidencia el comportamiento de las concentraciones promedios de PM2.5 para un día de 24 horas en el mes de noviembre de 2021, además de la evolución horaria para determinar los niveles de exposición durante las horas del día. Se evidencia que los promedios diarios de este contaminante criterio se encuentran dentro del límite máximo permisible diario de 37 μ/m^3 establecido por la Resolución 2254 de 2017. El valor promedio máximo de concentración fue de 12.055 μ/m^3 y se registró el día 11 de noviembre, mientras que el valor mínimo fue de 2.45 μ/m^3 y se presentó el día 01 de noviembre.

Nota: En el mes de diciembre no se cumplió el porcentaje de captura de datos establecidos en el Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire (MinAmbiente, 2010), esto debido a que el analizador APM-2 Comde Derenda presentó fallas técnicas en el almacenamiento de datos, por lo tanto, para la estación Zona Franca no se reportan datos durante en el mes de diciembre para el contaminante PM2.5

Evolución Diaria PM2.5 Zona Franca (μ/m^3) - 24 hr



Evolución Horaria PM 2.5 (μ/m^3) - Zona Franca

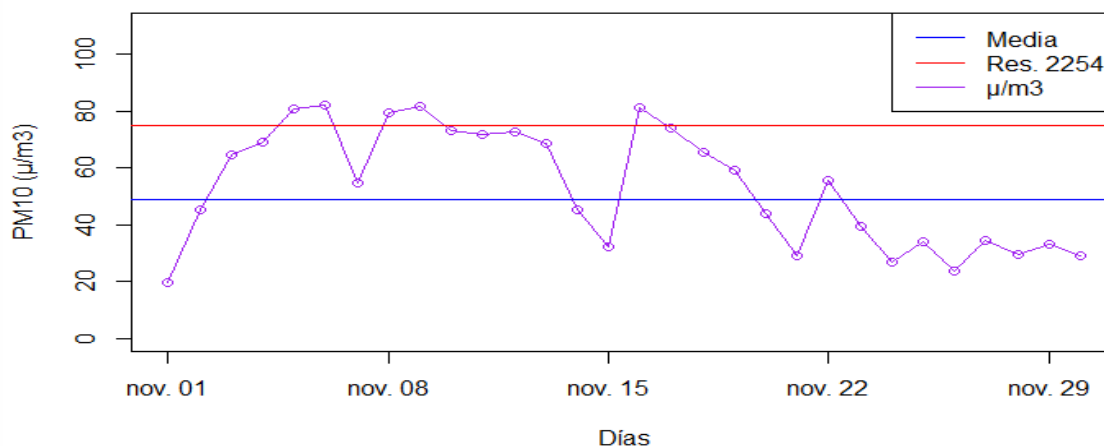


Gráfica 1. Evolución diaria y horaria de PM2.5 Estación Zona franca

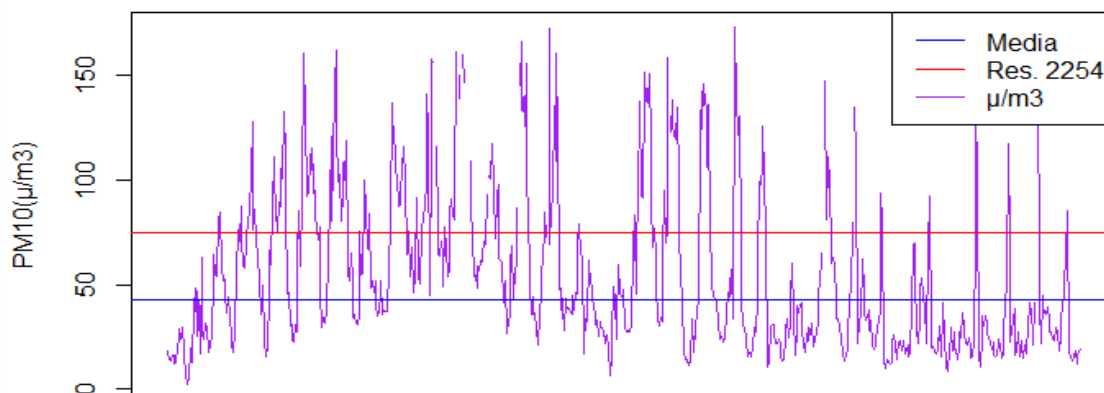
La Gráfica 2 indica el comportamiento diario y horario del contaminante PM10 en la estación Zona Franca durante el mes de noviembre. Se observa en las gráficas que se presentaron concentraciones que superen el límite máximo permisible diario de $75 \mu/m^3$ establecido por la Resolución 2254 de 2017. El valor promedio máximo de concentración diaria fue de $82.35 \mu/m^3$ y se registró el día 6 de noviembre, mientras que el valor mínimo fue de $19.87 \mu/m^3$ y se presentó el día 01 de noviembre. Se observa también en la gráfica horaria que en el transcurso de los días se presentaron altas concentraciones que sobrepasan este límite en periodos de tiempo continuo.

Nota: Teniendo en cuenta que en esta estación se utilizó el mismo analizador para medir PM2.5 y PM10 simultáneamente, no fue posible obtener datos para el mes de diciembre.

Evolución Diaria PM10 Zona Franca (μm^3) - 24 hr



Evolución Horaria PM10 (μm^3) - Zona Franca

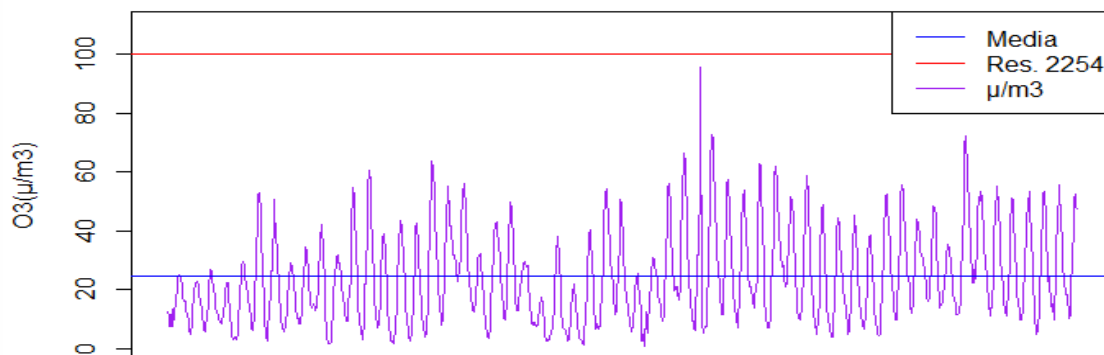


Gráfica 2. Evolución diaria y horaria de PM10 Estación Zona franca

Ozono (O_3): La Gráfica 3 y Gráfica 4 muestra el comportamiento octohorario del contaminante ozono (O_3) en los meses de noviembre y diciembre del año 2021 en la estación Zona Franca y Cardique, respectivamente. En la estación Zona Franca no se presentaron concentraciones que superen el límite permisible.

En la estación Cardique, se observa que el mes de noviembre los promedios de concentraciones se encuentran dentro del límite máximo permisible durante el mes de noviembre, mientras que para el mes de diciembre se presentaron excedencias que superan el límite diario que de $100 \mu\text{m}^3$ según la Resolución 2254 de 2017. Los picos de concentración más altas se registraron a partir de la segunda semana de este mes.

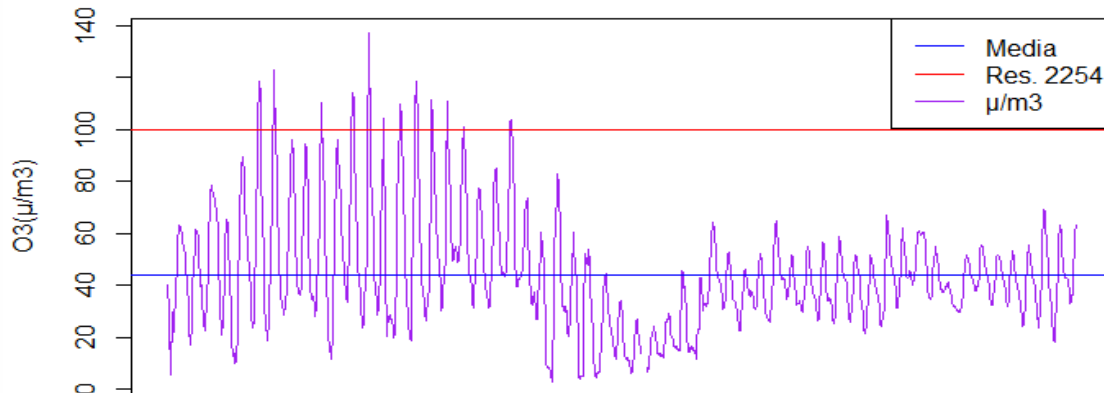
Evolución Octahoraria O₃ Zona Franca (μ/m³)



Nov - Dic

Gráfica 3. Evolución octahoraria O₃ en el año- estación Zona franca año 2021

Evolución Octahoraria O₃ Cardique (μ/m³)

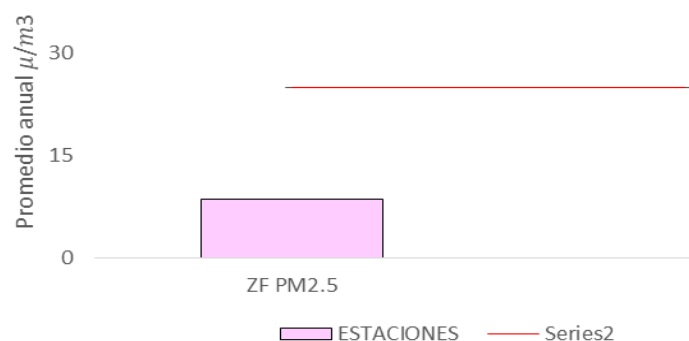


Nov - Dic

Gráfica 4. Evolución octahoraria O₃ en el año- estación Cardique año 2021

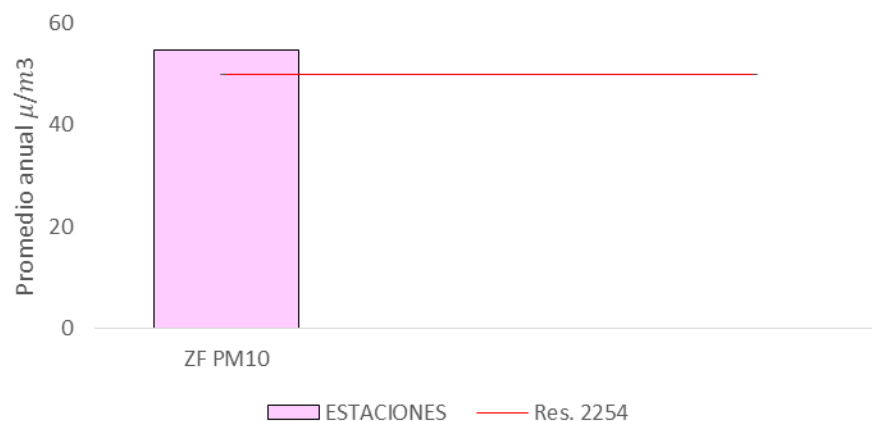
4.2. Promedio anual

La Gráfica 5 muestra el comportamiento anual del contaminante PM 2.5 en la estación Zona Franca. La concentración promedio anual para este contaminante fue de $8.63 \mu/m^3$, no superando el nivel máximo permisible ($25 \mu/m^3$) para un tiempo de exposición anual según la resolución 2254 de 2017.



Gráfica 5. Promedio anual PM2.5 Estación Zona franca

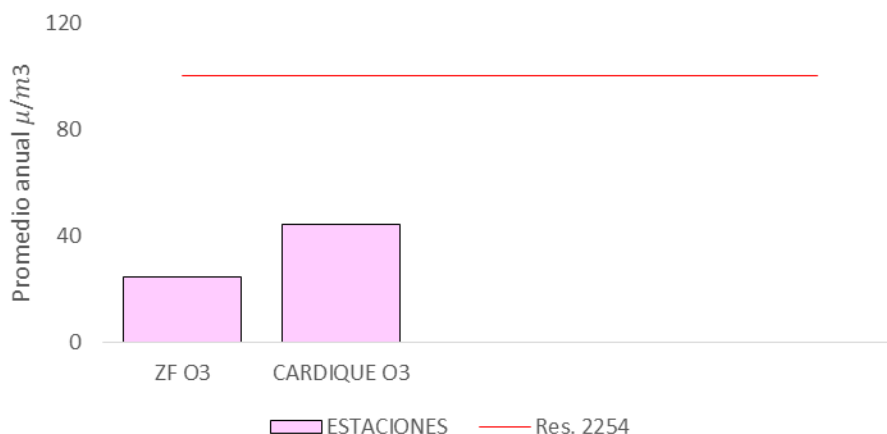
De acuerdo con la Gráfica 6 el comportamiento del promedio anual del contaminante PM10 en la estación Zona franca superó el límite máximo permisible para un tiempo de exposición anual de $50 \mu/m^3$. El promedio anual fue de $54.67 \mu/m^3$.



Gráfica 6. Promedio anual PM10 Estación Zona franca

De acuerdo con la Gráfica 7 el comportamiento anual del contaminante ozono (O_3) tanto para la estación Zona franca como la estación Cardique no superó el límite

máximo permisible ($100 \mu/m^3$) para un tiempo de exposición anual, siendo los promedios anuales octahorarios de $24.50 \mu/m^3$ y $44.19 \mu/m^3$, respectivamente.

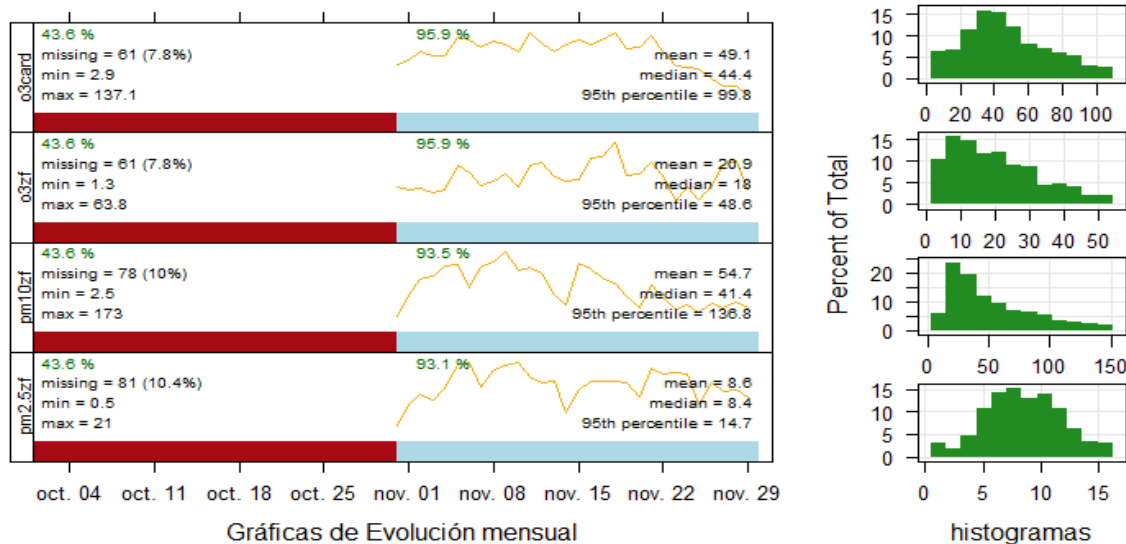


Gráfica 7. Promedio octahorario anual de O3 Zona franca

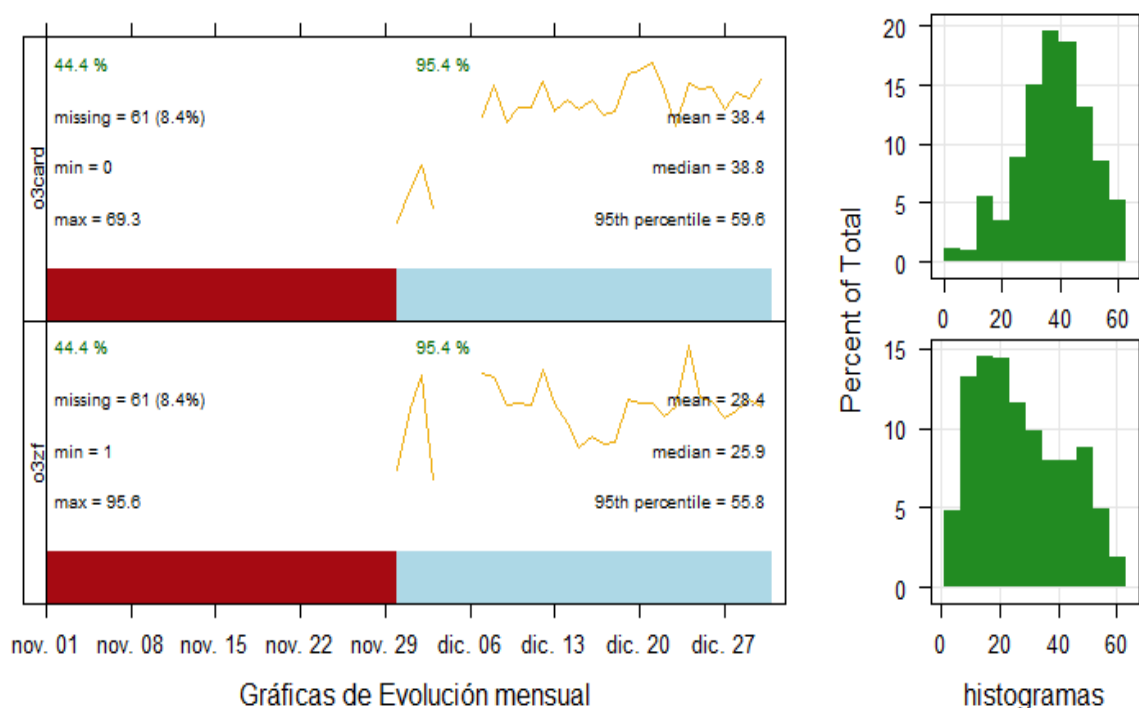
Análisis estadístico: Los datos estadísticos de la estación Zona franca para el mes de noviembre se describen de la siguiente manera:

- Para el contaminante PM2.5 la tendencia central está definida por el valor promedio o media el cual es de $8.6 \mu/m^3$ y el punto medio o mediana es de $8.4 \mu/m^3$, el promedio diario máximo registrado fue de $21 \mu/m^3$ y el mínimo fue de $0.5 \mu/m^3$. Para el contaminante PM10 el promedio máximo fue de $173 \mu/m^3$ y el mínimo fue de $2.5 \mu/m^3$ con una media y mediana de $54.7 \mu/m^3$ y 41.4 respectivamente.
- Para el caso del contaminante O₃ el promedio anual fue de $20.9 \mu/m^3$ con un promedio máximo de $63.8 \mu/m^3$ y un promedio mínimo de $1.3 \mu/m^3$.
- Los datos estadísticos del contaminante O₃ para el mes de diciembre se describen de la siguiente manera, la estación Cardique la tendencia central está definida por el valor promedio de $38.4 \mu/m^3$ y el punto medio o mediana es de 38.8 , el valor promedio máximo fue de $69.3 \mu/m^3$ mientras que el valor mínimo $0.5 \mu/m^3$.

Gráfica Resumen de Contaminantes



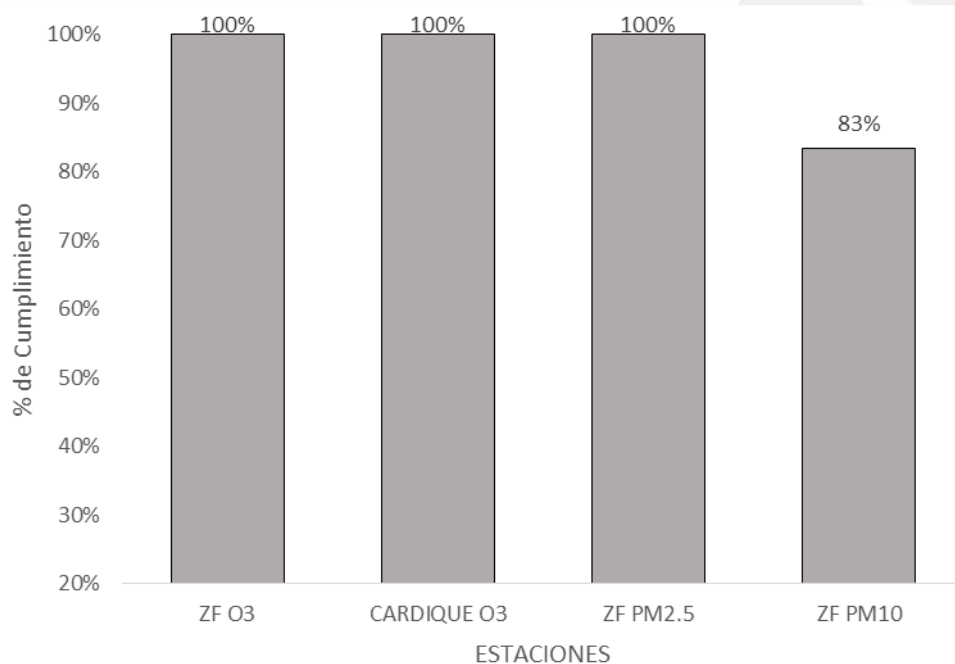
Gráfica Resumen de Contaminantes



Gráfica 8. Resumen estadístico PM2.5, PM10 y O₃ - Estación Zona Franca y Cardique

4.3. Porcentaje (%) de Cumplimiento respecto a la norma Resolución 2254 de 2017

La Gráfica 9 muestra el porcentaje de cumplimiento de cada estación respecto a la Resolución 2254 de 2017 establecida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Se observa que en la estación Zona Franca, las concentraciones de PM_{2.5}, y O₃ presentaron un 100% de cumplimiento. Este mismo comportamiento se observa en las mediciones de ozono (O₃) en la estación Cardique, es decir, que no se presentaron concentraciones que superarán el límite permisible. Sin embargo, se observa que las concentraciones de PM₁₀ en la estación Zona Franca presentaron un 83% de cumplimiento, debido a que el mes de noviembre se presentaron algunas excedencias del límite permisible diario.



Gráfica 9. Porcentaje (%) Cumplimiento Res. 2254 de 2017

Cálculo del índice de la calidad del aire - ICA: Según el artículo 18 de la Resolución 2254 de 2012, el ICA es un valor adimensional para reportar el estado de la calidad del aire en función de un código de colores al cual están asociados efectos generales que deben ser tenidos en cuenta para reducir la exposición a altas concentraciones por parte de la población.

Dentro de un Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire, el ICA es un indicador que permite evaluar y establecer el estado del aire, realizar comparaciones con periodos anteriores a fin de conocer que tanta mejora o deterioro hay en este y la relación existente con los efectos a la salud. También es una herramienta que permite a partir de las concentraciones dar una opinión pública entendible para las partes interesadas asociadas al sistema y tomar medidas de acción o planes de contingencia ante una posible eventualidad alarmante del estado de calidad del aire. En la Tabla 4 se muestra la descripción de los efectos en la salud asociados a los diferentes rangos y colores establecidos de ICA.

Tabla 4 Efectos en la salud según ICA

Rango	Color	Estado de la calidad del aire	Efectos
0 – 50	Verde	Buena	La contaminación atmosférica supone un riesgo bajo para la salud.
51 – 100	Amarillo	Aceptable	Posibles síntomas respiratorios en grupos poblacionales sensibles.
101 – 150	Naranja	Dañina a la salud de grupos sensibles	Los grupos poblacionales sensibles pueden presentar efectos sobre la salud. 1) Ozono Troposférico: las personas con enfermedades pulmonares, niños, adultos mayores y las que constantemente realizan actividad física al aire libre, deben reducir su exposición a los contaminantes del aire. 2) Material Particulado: las personas con enfermedad cardíaca o pulmonar, los adultos mayores y los niños se consideran sensibles y por lo tanto en mayor riesgo.
151 – 200	Rojo	Dañina para la salud	Todos los individuos pueden comenzar a experimentar efectos sobre la salud. Los grupos sensibles pueden experimentar efectos más graves para la salud.
201 – 300	Purpura	Muy dañina para la salud	Estado de alerta que significa que todos pueden experimentar efectos más graves para la salud.
301 – 500	Marrón	Peligroso	Advertencia sanitaria. Toda la población puede presentar efectos adversos graves en la salud humana y están propensos a verse afectador por graves efectos sobre la salud.

Los puntos de cortes establecidos por el ICA se muestran en la Tabla 5 estos se calculan de acuerdo con una ecuación para calcular este índice, la cual se describe más abajo.

Tabla 5. Punto de corte ICA

Índice de Calidad del Aire			Puntos de corte del ICA						
ICA	Color	Categoría	PM10 µg/m3 24 horas	PM2.5 µg/m3 24 horas	CO µg/m3 8 horas	SO2 µg/m3 1 hora	NO2 µg/m3 1 hora	O3 µg/m3 8 horas	O3 µg/m3 1 hora
0 – 50	Verde	Buena	0 - 54	0 - 12	0 - 5094	0 - 93	0 - 100	0 - 106
51 - 100	Amarillo	Aceptable	55 - 154	13 - 37	5095 - 10819	94 - 197	101 - 189	107 - 138
101 - 150	Naranja	Dañina a la salud de grupos sensibles	155 - 254	38 - 55	10820 - 14254	198 - 486	190 - 677	139 - 167	245 - 323
151 - 200	Rojo	Dañina para la salud	255 - 354	56 - 150	14255 - 17688	487 - 797	678 - 1221	168 - 207	324 - 401
201 - 300	Purpura	Muy dañina para la salud	355 - 424	151 - 250	17689 - 34862	798 - 1583	1222 - 2349	208 - 393	402 - 794
301 - 500	Marrón	Peligroso	425 - 604	251 - 500	34863 - 57703	1584 - 2629	2350 - 3853	394(2)	795 - 1185

Cálculo de ICA

Ecuación para el cálculo de ICA

$$ICA_p = \frac{I_{Alto} - I_{bajo}}{PC_{Alto} - PC_{bajo}} \times (Cp - PC_{bajo}) + I_{bajo}$$

ICA_p= Índice de Calidad del Aire para el contaminante *p*.

C_p= Concentración medida para el contaminante *p*.

PC_{alto}= Punto de corte mayor o igual a *C_p*

PC_{bajo}= Punto de corte mayor o igual a *C_p*

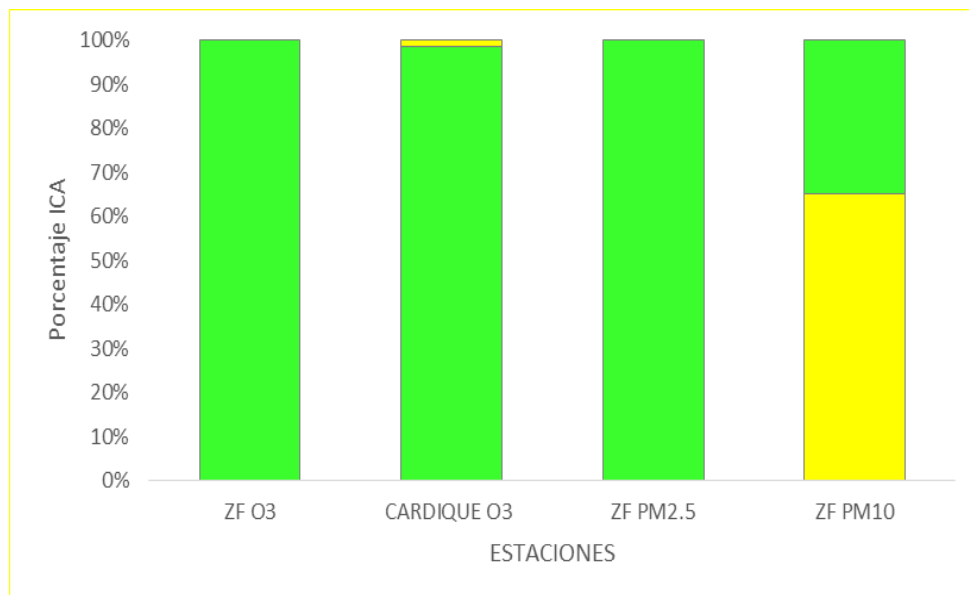
I_{alto}= Valor ICA correspondiente al *PC_{alto}*

I_{bajo}= Valor ICA correspondiente al *PC_{bajo}*

La Gráfica 10 y Tabla 6 evidencian el porcentaje del índice de calidad del aire en las distintas estaciones. El mayor porcentaje de la concentración del contaminante PM10 en la estación zona franca se ubicó en la franja amarilla (53% de los datos monitoreados) mostrando un índice de calidad del aire “aceptable”. Lo cual indica “posibles síntomas respiratorios en grupos poblacionales sensibles”.

Mientras que para los contaminantes O₃ y PM2.5, tanto en la estación Zona Franca como la estación Cardique, el mayor porcentaje de datos se ubicó en la franja verde

indicando un índice de calidad del aire “bueno” en más de un 100%. Lo cual indica que la contaminación atmosférica generada por estos contaminantes supone un riesgo bajo para la salud.



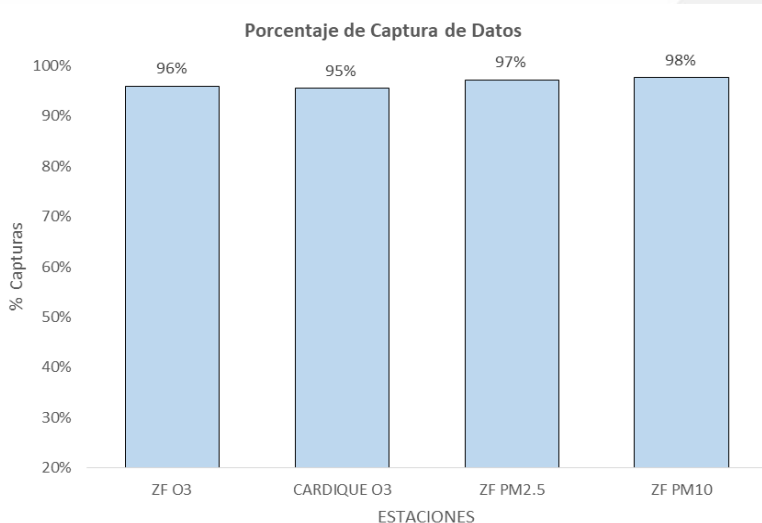
Gráfica 10. Porcentaje Índice de calidad del aire de las estaciones

Tabla 6 Porcentaje índice de calidad del aire de las estaciones

	ZF PM10	ZF PM2.5	ZF O ₃	CARD O ₃
Verde	46.7%	100%	100%	98.7%
Amarillo	53.3%	0%	0%	1.3%
Naranja	0	0	0	0
Rojo	0	0	0	0

4.4. Porcentaje de captura de datos

La Gráfica 11 muestra el porcentaje de captura de datos de cada una de las estaciones con los respectivos contaminantes monitoreados. El porcentaje de captura de datos del contaminante O₃ en las estaciones Zona Franca y Cardique superó el 75% de representatividad establecido por el Protocolo de Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire en los meses de noviembre y diciembre. Sin embargo, en la estación Zona Franca no fue posible realizar captura de datos de PM₁₀ y PM_{2.5} durante el mes de diciembre por las razones expuestas anteriormente, es necesario aclarar que en esta gráfica se relacionan los porcentajes que corresponden al mes de noviembre para esta estación y contaminantes.

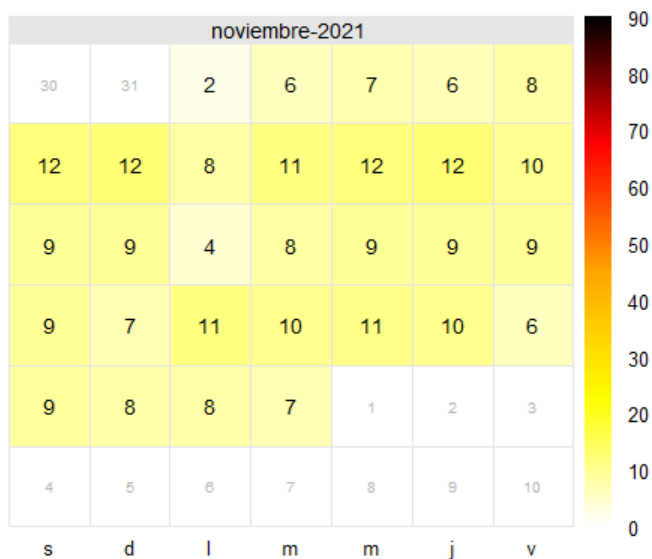


Gráfica 11. Porcentaje de captura de datos

4.5. Calendario de concentraciones

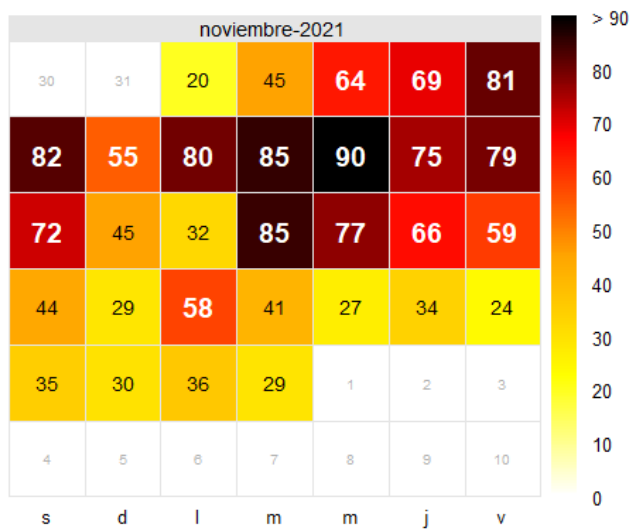
Los calendarios de concentraciones permiten identificar cuáles fueron los promedios horarios, comparándolos con los niveles máximos permisibles, mostrando aquellos días que presentaron las mayores concentraciones. Teniendo en cuenta la escala que aparece al lado derecho de cada imagen, entre más oscuro sea el color mayor fue la concentración del contaminante

Evolución de las Partículas PM_{2.5} en Noviembre



Gráfica 12. Calendario de concentraciones PM2.5 Estación Zona franca noviembre

Evolución de las Partículas PM₁₀ en Noviembre



Gráfica 13. Calendario de concentraciones PM 10 Zona franca Noviembre

Evolución de O₃ Zona Franca - Diciembre



Gráfica 14. Calendario de concentraciones O3 Zona franca Diciembre

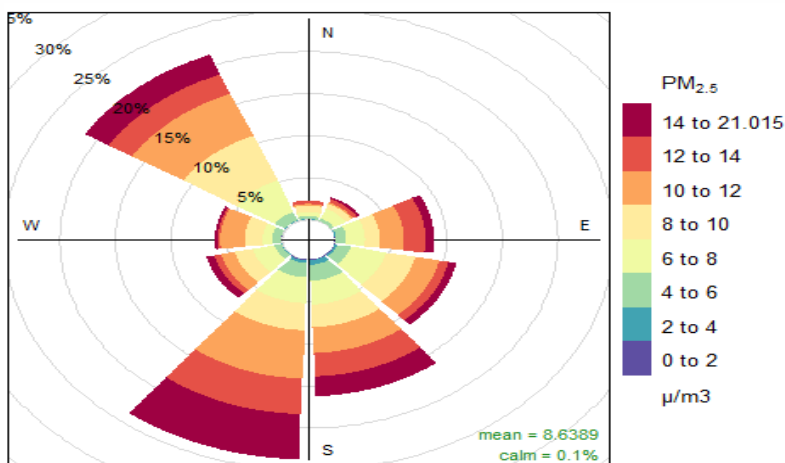
Evolución de O₃ Cardique - Diciembre



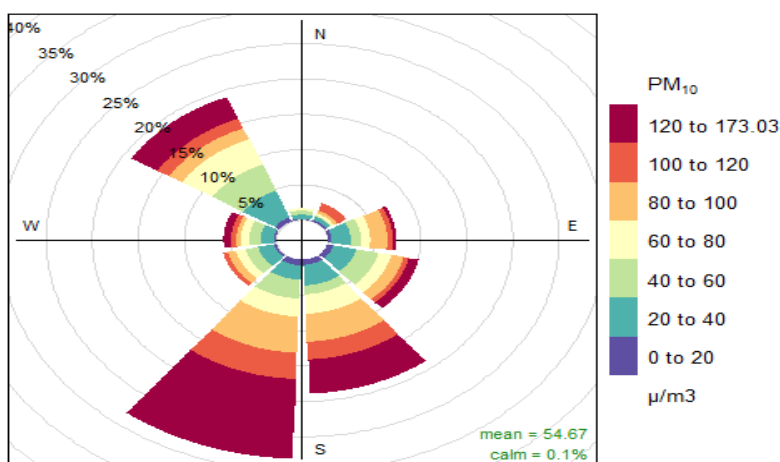
Gráfica 15. Calendario de concentraciones O3 Cardique Diciembre

4.6. Rosa de contaminantes

La Gráfica 16 muestra las rosas del contaminante PM_{2.5}, conforme a la dirección del viento se puede establecer el comportamiento este. La predominancia de la concentración del material particulado PM 2.5 en la estación Zona Franca oscila entre 6 y 14 $\mu\text{g m}^{-3}$, respectivamente, evidenciándose que las concentraciones de PM 2.5 provienen mayoritariamente del noroeste, sur y sur-suroeste



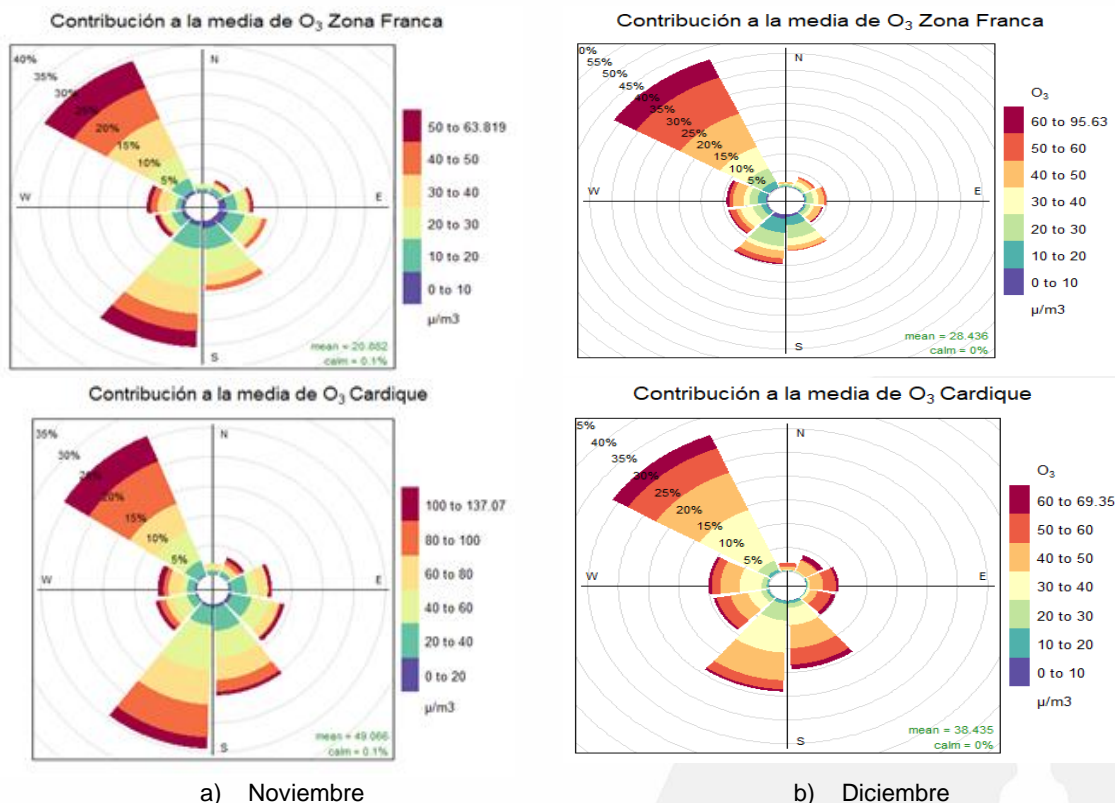
Gráfica 16. Rosa de contaminante PM 2.5 estación Zona franca



Gráfica 17. Rosa de contaminantes PM 10 estación Zona Franca

La Gráfica 17 representa la rosa del contaminante PM₁₀ de la estación Zona Franca el contaminante PM₁₀. Conforme a la dirección del viento se puede establecer el comportamiento del contaminante. La mayor predominancia de la concentración del material particulado PM 10 en la estación Zona Franca oscila entre 40 y 120 $\mu\text{g m}^{-3}$,

respectivamente. Se evidencia que las concentraciones provienen mayoritariamente del sur-suroeste, sur, y noroeste.



Gráfica 18. Rosa de contaminantes O₃

Las Gráfica 18 representan la rosa de contaminantes de las estaciones para el contaminante O₃. Las concentraciones más usuales en la estación Cardique se presentan en un rango amplio de 10 a 130 $\mu\text{g m}^{-3}$. En la estación Zona Franca oscila entre 10 y 95 $\mu\text{g m}^{-3}$. Para la estación de Cardique las mayores concentraciones provienen principalmente del noroeste y sur-suroeste, tanto en noviembre como en diciembre. A su vez en la estación de Zona Franca las concentraciones más altas provienen desde el noroeste y una menor proporción desde el sur-suroeste.

4.7. Conclusiones

- **Contaminante PM 10:**

Estación Zona franca: Del total de los datos obtenidos durante el año 2021 que corresponde únicamente al mes de noviembre, se reportan concentraciones por encima del límite máximo permisible anual de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ establecidos por la Normativa Ambiental Colombiana (Resolución 2254 de 2017); sin embargo, la mayor proporción de los datos capturados y validados se encuentran por debajo del límite. El valor promedio de las concentraciones medidas en el año alcanzó los $54.67 \mu\text{g}/\text{m}^3$, superior al límite permisible de la norma.

De los valores obtenidos del índice de calidad del aire (ICA) de PM_{10} para cada día del año se puede evidenciar que el 46.7% de los ICA diarios se encuentran dentro del rango que califica como **buena** la calidad de aire, mientras que un 53,3 % de los datos representó un estado aceptable de calidad del aire.

De acuerdo con el indicador de porcentaje de captura de datos, se alcanzó un 98% equivalente al mes de noviembre, lo cual quiere decir que se cumplió con la captura de datos igual o superior al 75% establecido por el Protocolo de monitoreo de la calidad del aire para el contaminante PM_{10} de la estación Zona franca.

- **Contaminante PM 2,5:**

Estación Zona Franca: Teniendo en cuenta el promedio anual para el año 2021, no se reportan concentraciones por encima del límite máximo permisible anual de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ establecidos por la Normativa Ambiental Colombiana, Resolución 2254 de 2017. El valor promedio de las concentraciones medidas en el año alcanzó los $8.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$, inferior al límite permisible de la norma. Esto representa un porcentaje de cumplimiento del 100% y un 0% de excedencias.

De los valores obtenidos del índice de calidad del aire (ICA) de $\text{PM}_{2,5}$ para cada día del año se puede evidenciar que el 100% de los ICA diarios se encuentran dentro del rango que califica como buena la calidad de aire, no representando afectaciones a la salud para el mes de noviembre.

De acuerdo con el indicador de porcentaje de captura de datos, se alcanzó un 97% lo cual quiere decir que se cumplió con la captura de datos igual o superior al 75% establecido por el Protocolo de monitoreo de la calidad del aire para el contaminante $\text{PM}_{2,5}$ de la estación Zona franca.

- **Contaminante Ozono Troposférico:**

Estación Zona Franca: El contaminante ozono troposférico durante el año 2021, no presenta concentraciones por encima de los $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ establecidos como nivel máximo permisible en la resolución 2254 de 2017 por el ministerio de ambiente y desarrollo

sostenible MADS para tiempo de exposición de 8 horas. El promedio anual octohorario es $44.19 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Con un porcentaje de cumplimiento a la norma de 100%.

Esta estación reportó un 96% de captura de datos, lo cual quiere decir que se cumplió con la captura de datos superior a 75% establecido por el protocolo de monitoreo de la calidad del aire.

El 100% de los valores obtenidos del índice de calidad del aire (ICA) de ozono para cada 8 horas se encuentran en el rango que clasifica como buena la calidad del aire aun cuando no se cumple con la representatividad.

Estación Cardique: El contaminante ozono troposférico durante el año 2021, no presenta concentraciones por encima de los $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ establecidos como nivel máximo permisible en la resolución 2254 de 2017 por el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible MADS para tiempo de exposición de 8 horas. El promedio octohorario es $41.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Con un porcentaje de cumplimiento anual a la norma de 100%.

Esta estación reportó un 95% de captura de datos, lo cual quiere decir que se cumplió con la captura de datos superior a 75% establecido por el protocolo de monitoreo de la calidad del aire.

El 98,7% del total de los valores obtenidos del índice de calidad del aire (ICA) de ozono para cada 8 horas se encuentran en el rango que clasifica como buena la calidad del aire.

