2021

INFORME TRIMESTRAL DE CALIDAD DEL AIRE ABRIL JUNIO

CDMB
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA

Subdirección de Ordenamiento y Planificación Integral del Territorio

Gestión del Conocimiento Ambiental

Dr. JUAN CARLOS REYES NOVA
Director General

Ing. Esp. LEONEL ENRIQUE ROA
Subdirector de Ordenamiento y Planificación Integral del Territorio

Ing. Esp. MARIA CARMENZA VICINI MARTINEZ
Coordinadora Gestión del Conocimiento e Investigación Ambiental

Ing. MAURICIO GALVÁN GÓMEZ
Profesional Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire

Bucaramanga, Agosto del 2021

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCION 4
2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO 5
3 GENERALIDADES 6
3.1 Ubicación geográfica de estaciones y entorno 6
3.2 Tecnología de medición de las estaciones 7
3.2.1 Estaciones Cabecera y Ciudadela Real de Minas 7
3.2.2 Estación Florida 8
3.3 Resumen ficha técnica de las estaciones 10
3.3.1 Estaciones Cabecera y Ciudadela Real de Minas 10
3.3.2 Estación Florida 11
3.4 Contaminante evaluado 12
3.4.1 Material particulado con diámetro menor a diez micras – PM_{10} 12
3.4.2 Ozono Troposférico – O_3 14
3.5 Tecnologías de monitoreo utilizadas 16
4 RESULTADOS DE LOS MONITOREOS DE CALIDAD DEL AIRE 17
4.1 Gráficas de evolución diaria de la concentración de los contaminantes 17
4.1.1 Estación Cabecera PM_{10} 17
4.1.2 Estación Ciudadela PM_{10} 17
4.1.3 Estación Florida O_3 18
4.2 Resultados estadísticos 18
4.3 Resultados consolidados 19
4.3.1 Estación Cabecera PM_{10} 19
4.3.2 Estación Ciudadela PM_{10} 21
4.3.3 Estación Florida O_3 24
4.4 Comparación con la norma 31
4.4.1 Estación Cabecera PM_{10} 31
4.4.2 Estación Ciudadela PM_{10} 31
4.4.3 Estación Florida O_3 32
4.5 Cálculo del índice de calidad del aire – ICA para cada estación 32
4.5.1 Estación Cabecera PM_{10} 32
4.5.2 Estación Ciudadela PM_{10} 33

4.5.3 Estación Florida O_3 33
4.6 Análisis de datos atípicos 34
4.7 Particularidades del periodo 34
5 METEOROLOGÍA DEL PERIODO 36
5.1 Gráficas de comportamiento mensual 36
5.1.1 Temperatura....36
5.1.2 Precipitación....38
5.1.3 Rosa de vientos....40
6 GESTIONES DE LA CDMB EN MATERIA DE CALIDAD DEL AIRE 43
6.1 Sistema de Alertas Tempranas de Olores Ofensivos (SAT) y Modernización del Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire de la CDMB. 43
7 CONCLUSIONES....45

LISTADO DE IMÁGENES

Imagen 1. Analizador automático continuo de partículas BAM - 1020 marca Met One Instruments Inc. 7
Imagen 2. Analizador automático continuo de ozono 400A marca TELEDYNE API.....9
Imagen 3. Comparación del tamaño de referencia de las partículas con un cabello humano.....12
Imagen 4. Ilustración sobre el alojamiento del PM en el cuerpo y de partículas provenientes del Diesel.....14
Imagen 5. Perfiles de concentración de contaminantes debido a las reacciones fotoquímicas.....15
Imagen 6. Ozono troposférico y smog fotoquímico en Bogotá D.C. 15
Imagen 7. Concentración PM10 Estación Cabecera Abril - Junio de 2021. 17
Imagen 8. Concentración PM10 Estación Ciudadela Abril - Junio de 2021. ...17
Imagen 9. Concentración O3 Estación Florida Abril - Junio de 2021.....18
Imagen 10. Comparación normativa PM10 Estación Cabecera Abril - Junio de 2021.....31
Imagen 11. Comparación normativa PM10 Estación Ciudadela Abril - Junio de 2021.....31
Imagen 12. Comparación normativa O3 Estación Florida Abril - Junio de 2021. 32
Imagen 13. ICA PM10 Estación Cabecera Abril Junio de 2021. 32
Imagen 14. ICA PM10 Estación Ciudadela Abril - Junio de 2021.....33
Imagen 15. ICA O3 Estación Florida Enero Marzo de 2021. 33
Imagen 16. Seguimiento climatológico mayo de 2021 fenómeno de Él Niño. 35

Imagen 17. Comportamiento de la Temperatura Abril de 2021 Estación Florida. 36
Imagen 18. Comportamiento de la Temperatura Mayo de 2021 Estación Florida. 36
Imagen 19. Comportamiento de la Temperatura Junio de 2021 Estación Florida......37
Imagen 20. Comportamiento de la Temperatura Abril de 2021 Estación Ciudadela......37
Imagen 21. Comportamiento de la Temperatura Mayo de 2021 Estación Ciudadela......38
Imagen 22. Comportamiento de la Precipitación (mm) Abril de 2021 Estación Ciudadela......38
Imagen 23. Comportamiento de la Precipitación (mm) Mayo de 2021 Estación Ciudadela......39
Imagen 24. Comportamiento de la Precipitación (mm) Junio de 2021 Estación Ciudadela......39
Imagen 25. Rosa de los vientos Estación Ciudadela Abril de 2021......40
Imagen 26. Rosa de vientos Estación Ciudadela Mayo de 2021......40
Imagen 27. Rosa de los vientos Estación Ciudadela Junio de 2021. 41
Imagen 28. Rosa de los vientos Estación Florida Abril de 2021......41
Imagen 29. Rosa de los vientos Estación Florida Mayo de 2021......42
Imagen 30. Rosa de los vientos Estación Florida Junio de 2021. 42
Imagen 31. Instalación micro estación tipo MetPole Barrio Gaitán.....43
Imagen 32. Instalación micro estación tipo MetPole Barrio Nariño. 44
Imagen 33. Instalación micro estación tipo MetPole Barrio La Joya 44

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación geográfica Estación Cabecera. 6
Tabla 2. Ubicación geográfica Estación Ciudadela Real de Minas......6
Tabla 3. Ubicación geográfica Estación Florida.....6
Tabla 4. Ficha técnica analizador continuo automático BAM - 1020 marca Met One Inst. Inc. 10
Tabla 5. Ficha técnica analizador automático continuo de Ozono Teledyne API modelo 400A......11
Tabla 6. Resumen de las tecnologías de monitoreo utilizadas SVCA CDMB .16
Tabla 7. Resultados estadísticos Abril - Junio de 2021.....18
Tabla 8. Resultados consolidados Concentración e ICA PM10 Estación Cabecera......19
Tabla 9. Resultados consolidados Concentración e ICA PM10 Estación Ciudadela......21
Tabla 10. Resultados consolidados Concentración e ICA O3 Estación Florida. 24

1 INTRODUCCION

El Plan de Acción Cuatrienal 2020 – 2020 *"El Agua Siempre Contigo: Hacia la Sostenibilidad"* de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga – CDMB cimentó su formulación en el hecho que la contaminación del aire es causada principalmente por el débil control y seguimiento de emisiones de gases de fuentes fijas y móviles agravada con la falta de articulación entre actores del SINA y los entes territoriales que permitan implementar acciones efectivas en procura de mejorar la calidad del aire.

Sobre este precepto se diseñaron las líneas estratégicas que guiarán la gestión de la CDMB en el próximo cuatrienio en procura de la mejora de la calidad del aire que buscan garantizarles a los ciudadanos el derecho al goce de un ambiente sano, las cuales son: Línea Estratégica I: Moderna, Incluyente y Participativa y la Línea Estratégica II: Seguridad Hídrica, Atmosférica y Geológica un reto Común para la Jurisdicción de la CDMB, a partir de las cuales se elaboran los programas, actividades, indicadores y metas, pilares para el cumplimiento de la visión y la misión corporativa con orientación hacia las partes interesadas.

En este orden de ideas, el presente documento se constituye en el segundo Informe Trimestral de Calidad del Aire del Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga – CDMB, conformado actualmente por dos estaciones automáticas ubicadas en los sectores de Cabecera y Ciudadela Real de Minas en Bucaramanga que miden el contaminante criterio denominado material particulado con diámetro aerodinámico menor a diez micras (PM_{10}) y en el sector de Cañaveral en Floridablanca una estación automática que mide el contaminante criterio denominado Ozono Troposférico (O_3), así mismo en las estaciones de la Ciudadela Real de Minas y Floridablanca se miden los parámetros meteorológicos como temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, presión barométrica, precipitación y radiación solar.

Por último, el presente informe trimestral de calidad del aire muestra el avance que se tiene sobre el proyecto de modernización del Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire de la CDMB, la implementación de un Sistema de Alertas Tempranas de Olores Ofensivos (SAT).

2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

- Realizar la comparación del valor de la concentración en microgramos por metro cúbico (µg/m^3) del contaminante criterio PM_{10} con el nivel máximo permisible en el aire para un tiempo de exposición de 24 horas establecido en la Resolución MADS No. 2254 del 01 de noviembre de 2017, correspondiente a las estaciones automáticas ubicadas en los sectores de Cabecera y la Ciudadela Real de Minas en el Municipio de Bucaramanga.

- Realizar la comparación del valor de la concentración en microgramos por metro cúbico (µg/m^3) del contaminante criterio O_3 con el nivel máximo permisible en el aire para un tiempo de exposición de 8 horas establecido en la Resolución MADS No. 2254 del 01 de noviembre de 2017, correspondiente a la estación automática ubicada en el sector de Cañaveral del Municipio de Floridablanca.

- Realizar el cálculo del Índice de Calidad del Aire (ICA) para los contaminantes criterio PM_{10} y O_3, de acuerdo con los puntos de corte establecidos en la Resolución MADS No. 2254 del 01 de noviembre de 2017, estableciendo las categorías correspondientes para la calidad del aire de las zonas evaluadas.

- Describir el estado de avance de la implementación del Sistema de Alertas Tempranas de Olores Ofensivos (SAT) y de la modernización del Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA) de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga – CDMB, en el marco del Contrato No. 12942 – 03 suscrito con la empresa especializada K-2 INGENIERÍA S.A.S., por un valor de CUATRO MIL NOVECIENTOS SESENTA Y OCHO MILLONES QUINIENTOS DOCE MIL QUINIENTOS PESOS M/CTE ($4.968’512.500,00).

3 GENERALIDADES

3.1 Ubicación geográfica de estaciones y entorno

Tabla 1. Ubicación geográfica Estación Cabecera.

ESTACIÓN	DIRECCIÓN	COORDENADAS			ENTORNO
		Latitud	Longitud	Altitud	
Cabecera	Esquina de la Carrera 33 con la Calle 52, sobre el separador vial en el sentido Norte – Sur.	07°06’47” N	76°07’37” W	974 m.	Zona de alto tráfico y congestión vehicular, caracterizada por la presencia de locales comerciales y oficinas.

Tabla 2. Ubicación geográfica Estación Ciudadela Real de Minas.

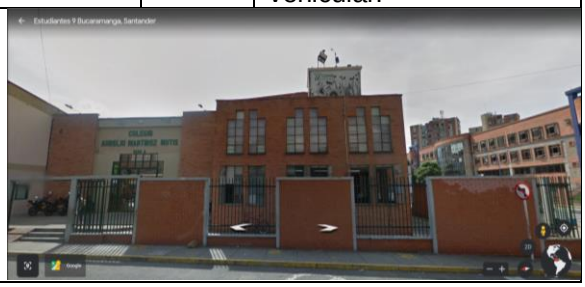
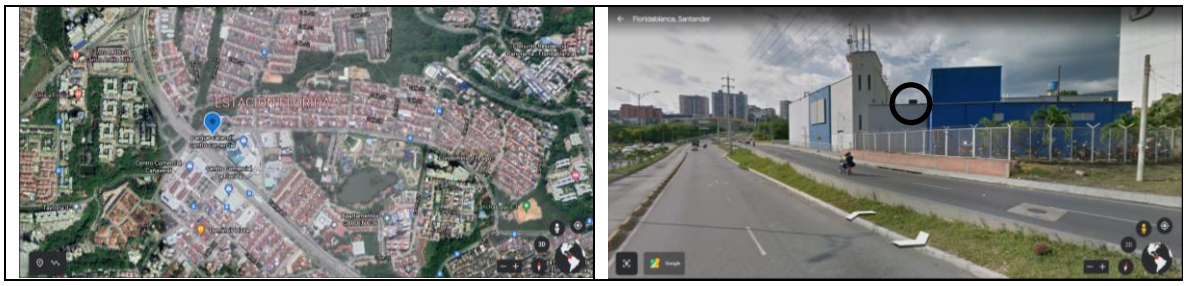
ESTACIÓN	DIRECCIÓN	COORDENADAS			ENTORNO
		Latitud	Longitud	Altitud	
Ciudadela Real de Minas	Calle de los Estudiantes, terraza del Colegio Aurelio Martínez Mutis	07°06’21” N	73°07’25” W	930 m.	Zona de colegios y universidades, alta circulación de peatones y baja circulación vehicular.
					

Tabla 3. Ubicación geográfica Estación Florida

ESTACIÓN	DIRECCIÓN	COORDENADAS			ENTORNO
		Latitud	Longitud	Altitud	
Florida	Terraza del Edificio Sede Sur Telebucaramanga Sector Cañaveral	07°04’19” N	73°06’21” W	842 m.	Autopista vía nacional con gran circulación y cogestión en horas pico, zona rodeada de centros comerciales, bares y restaurantes.



3.2 Tecnología de medición de las estaciones

3.2.1 Estaciones Cabecera y Ciudadela Real de Minas

En las estaciones ubicadas en los sectores de Cabecera y la Ciudadela Real de Minas del Municipio de Bucaramanga se mide el contaminante criterio denominado material particulado con diámetro aerodinámico menor a diez micras (PM_{10}), para lo cual se utiliza un analizador automático continuo de partículas marca Met One Instruments Inc. ®, modelo BAM – 1020.

Imagen 1. Analizador automático continuo de partículas BAM - 1020 marca Met One Instruments Inc.

Es un Monitor de Partículas Automático con designación U.S-EPA, que funciona bajo el principio de operación de Atenuación de los Rayos Beta. Posee un Datalogger incorporado para el Registro de los datos de concentración de material particulado.

El BAM 1020 mide y registra automáticamente los niveles de concentración de partículas en el aire (en miligramos o microgramos por metro cúbico) utilizando el principio probado en la industria de atenuación de rayos beta. Actualmente, miles de unidades BAM 1020 están desplegadas en todo el mundo, lo que convierte a la unidad en una de las plataformas de monitoreo del aire más exitosas del mundo.

Al comienzo de cada hora de muestreo, una pequeña fuente de 14C (carbono-14) emite una fuente constante de electrones de alta energía (conocidos como rayos beta) a través de una mancha de cinta de filtro limpia. Estos rayos beta son detectados y contados por un detector de centelleo sensible para determinar una lectura cero. Luego, el BAM 1020 avanza este punto de cinta hacia la boquilla de muestra, donde una bomba de vacío extrae una cantidad medida y controlada de aire exterior a través de la cinta de filtro, cargándola con polvo ambiental. Al final de la hora de la muestra, esta mancha de polvo se vuelve a colocar entre la fuente beta y el detector, provocando así la atenuación de la señal de rayos beta que se utiliza para determinar la masa del material particulado en la cinta del filtro. Esta masa se utiliza para calcular la concentración volumétrica de material particulado en el aire ambiente.

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

La anterior ecuación es llamada la *Ley de Beer* y describe como la energía (en este caso rayos beta) es absorbida por una molécula específica en una longitud de onda específica.

I es el conteo de Rayos Beta a través del papel filtro sucio *(conteo por unidad de tiempo).* I_0 es el conteo de Rayos Beta a través del papel filtro limpio. μ es el área transversal de absorción del material que absorbe los Rayos Beta (cm^2/g) y x es la densidad de masa depositada en el papel filtro (cm^2/g).

$$x = -\frac{1}{\mu}\ln\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

El BAM1020 realmente despeja x, la densidad de masa depositada en el papel filtro (cm^2/g), de la ecuación de la ley de Beer. En la siguiente ecuación podemos observar como el BAM1020 logra esto.

$$C = \frac{Ax}{V}$$

Para hallar la concentración de Partículas Suspendidas en el Aire el BAM – 1020 despeja la concentración C ($\mu g/m^3$) de la ecuación de arriba. A es el área manchada con el polvo depositado en el filtro (m^2). X es la densidad de masa depositada en el filtro ($\mu g/m^2$). V es el volumen muestreado (m^3).

3.2.2 Estación Florida

En la estación ubicada en el sector de Cañaveral del Municipio de Floridablanca se mide el contaminante criterio denominado Ozono Troposférico (O_3), para lo cual se utiliza un analizador automático continuo marca TELEDYNE API modelo 400A.

Imagen 2. Analizador automático continuo de ozono 400A marca TELEDYNE API.

El Modelo 400A es un Analizador de Ozono, que funciona por el método de absorción de rayos UV. Es controlado por microprocesador y posee capacidad de registro de datos, gracias a su memoria interna. Los datos almacenados pueden ser fácilmente extraídos a través de su puerto RS-232.

El analizador de absorción UV modelo T400 o 400A utiliza un sistema basado en la ley de Beer-Lambert para medir rangos bajos de ozono en el aire ambiente.

Una señal de luz ultravioleta de 254 nm pasa a través de la celda de muestra donde se absorbe en proporción a la cantidad de ozono presente. Periódicamente, una válvula de conmutación alterna la medición entre el flujo de muestra y una muestra que ha sido eliminada de ozono. El resultado es una medición de ozono verdadera y estable.

$$I = I_0 e^{-\propto Lc}$$

La ecuación es llamada la *Ley de Beer* y describe como la luz es absorbida por una molécula específica en una longitud de onda específica. I_0 es la intensidad de la luz si no hubiera absorción. I es la cantidad con absorción. L es la distancia en que la luz viaja siendo absorbida. c es la concentración del gas absorbente (en el caso del modelo 400A, Ozono) y $\propto$ es el coeficiente de absorción (305 atm^{-1} cm^{-1}) que dice que también el O_3 se absorbe a la longitud de onda específica de interés (254 nm).

$$c = \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) * \left(\frac{1}{\propto L}\right)$$

El Modelo 400A realmente despeja c, la concentración de O_3, de la ecuación de la *Ley de Beer* en la longitud o recorrido de absorción L.

3.3 Resumen ficha técnica de las estaciones

3.3.1 Estaciones Cabecera y Ciudadela Real de Minas

Tabla 4. Ficha técnica analizador continuo automático BAM - 1020 marca Met One Inst. Inc.

ESPECÍFICACIÓN TÉCNICA	DESCRIPCIÓN
Principio:	Concentración relativa por atenuación Beta.
Método de referencia:	Método gravimétrico.
Rango:	0 a 10.000 mg/m^3.
Precisión (24 horas):	± 3 µg con rango de concentración de 0 a 0.100 mg/m^3 (modo 24 horas). ± 2% con rango de concentración de 0.100 a 1.000 mg/m^3.
Precisión (1 hora):	± 8 µg con rango de concentración de 0 a 0.100 mg/m^3 (modo 1 hora). ± 8% con rango de concentración de 0.100 a 1.000 mg/m^3.
Resolución:	± 2 µg/m^3
Estabilidad del Span (1 mes):	± 4%, verificado con calibrador incorporado.
Lectura mínima:	± 1 µg/m^3 (± 0,001 mg/m^3).
Calibración:	Calibración Automática de Membrana Interna provee test de SPAN. Membrana es activada automáticamente cada hora, desviaciones del estándar son registradas.
Ciclo de medición:	1 hora estándar, o seleccionable por el operador con rango de 1 minuto a 200 minutos. Ciclos de Tiempo especiales Disponibles.
Medición Beta:	Fuente C-14, 60 µCi (< 2.22 X 10^6 Beq.) Tiempo de Vida Medio de 5730 años.
Detector:	Sonda plástica centelleante
Cinta filtro:	Filtro de Fibra de Vidrio Continuo, 30mm de ancho por 21 m de longitud, Un Rollo operará por 60 días @ un período de muestreo de 1 Hr.
Rata de flujo:	16.7 LPM (estándar), ajustable de 0 a 20 LPM.
Sistema de flujo:	Medido utilizando medidor de flujo másico.
Bomba de muestreo:	Bomba Rotatoria 1/3 Hp (estándar).
Sistema de calentamiento de flujo:	No requerido. Excepto en casos de condensación extremos, lo que reduce la pérdida de COV's. Cuando sea necesario BX-825 ó BX- 826 instalado alrededor del tubo de entrada.
Aprobaciones:	US EPA, Reino Unido, Corea, Japón, China.
Display y teclado:	Display de 8 líneas por 40 caracteres, con luz de respaldo, provee todos los parámetros operacionales, de calibración y configuración con Llamados de menú y cursor de control. Teclado contiene las cuatro teclas de llamado, cuatro teclas de cursor y seis teclas de funciones.
Funciones del Display:	Pantallas para SETUP, OPERATE y TEST, DIRIGIDAS POR MENU.
Salidas análogas:	0-1 VDC o 0- 10 VDC, seleccionables por switch, (tipo aislado) 4-20 o 0- 20 mA, seleccionables por switch, (tipo aislado).
Interface Serial #1:	Transferencia de Datos y Estado de Operación del Instrumento. Esta interface es a menudo utilizada con modem para comunicaciones remotas.
Interface Serial #2:	Salida únicamente y puede ser utilizada con impresora o computador. La salida puede ser de fecha, hora y datos, o puede ser de uno o dos modos de diagnóstico. Utilizada por técnicos para dar servicio al instrumento.

Impresora:	Impresora Serial puede ser conectada a la Interface Serial #2, cable opcional para interface paralela a serial puede ser utilizado con impresoras paralelas estándar.
Impresora externa:	Impresora serial de 80 columnas disponible como opción.
Telemeter:	Timer in externo (aislado) Fault in telémetro (aislado).
Alarma cierre de contacto:	Error Datos inválidos Falla en el Rollo Error de Flujo Falla de Suministro Mantenimiento.
Software:	Puede ser utilizado con cualquier programa terminal y con la mayoría de los paquetes de software Met One.
Errores:	Cinta de Filtro Rota, Rata de Flujo de Calibración, Presión, etc.
Datos registrados:	Concentración (mg/m^3) a rata de muestreo.
Memoria Total:	30 a 200 días dependiendo del período de muestra.
Salidas:	RS - 232 para Lectura de Datos (de un BAM-1020 localizado remotamente).
Rango temperatura de operación:	0-40 °C (0-90% HR, no condensante).
Rango extendido de temperatura:	-30° a +60 °C (0- 90% HR, no condensante).
Suministro Voltaje/Frecuencia:	100/115/230 VAC, cambiado con switch interno, 50 o 60 Hz, manualmente seleccionable dentro de la unidad.
Peso:	21 Kg (46.3 libras) aprox. Excluyendo la bomba.
Dimensiones:	(14 3/8") x (19") x (18").
Unidad de Control del Detector:	75 VA
Calibración de la cinta:	Gravimétrica de la cinta, utilizando un Kit de Prueba BX- 304 y una balanza de precisión.

3.3.2 Estación Florida

Tabla 5. Ficha técnica analizador automático continuo de Ozono Teledyne API modelo 400A.

ESPECÍFICACIÓN TÉCNICA	DESCRIPCIÓN
Principio:	Método de absorción de rayos ultravioleta.
Rangos:	Seleccionables desde 10 ppb hasta 10 ppm.
Unidades de medición:	Seleccionables ppb, ppm, $\mu g/m^3$
Ruido del Zero:	< 0.3 ppb RMS (EPA)
Ruido del Span:	< 0.5% lectura RMS (EPA) (arriba de 100 ppb)
Límite Detectable más bajo:	< 0.6 ppb (EPA)
Desviación del Zero (24 h):	< 1.0 ppb
Desviación del Zero (7 d):	< 1.0 ppb
Desviación del Span (24 h):	< 1% lectura
Desviación del Span (7 d):	< 1% lectura
Linealidad:	Mejor que 1% F.S.
Precisión:	0.5% lectura
Tiempo de Retraso:	<10 seg (EPA)
Tiempo de Subida/Caída:	<20 seg al 95% (EPA)
Flujo de Muestra:	800 scc/min. ± 10%
Rango de Temperatura:	5 – 40°C
Rango de Humedad:	10-90% HR, No condensante

Coeficiente Temperatura:	< 0.05 % por °C
Coeficiente Voltaje:	< 0.05 % por V
Dimensiones (H x W x D):	7" x 17" x 24“(178 mm x 432 mm x 610 mm)
Peso:	37 lb (17 kg) unidad estándar
Suministro:	39 lb (17.6 kg) con IZS 110V/60 Hz, 220V/50 Hz, 240 V/50
Condiciones Ambientales:	Hz 250 watts 230 V~, 50 Hz, 2.5A Categoría de Instalación (Categoría Sobrevoltaje) II. Grado de Polución 2 2.000 m altitud máxima.
Salida Recorder/DAS:	± 100 mV, ± 1 V, ± 5 V, ± 10 V (Bi-Polar), 0-20 o 4-20 mA loop de corriente.
Resolución Salida Análoga:	1 parte en 1024 del voltaje F.S.
Salidas de Estado:	12 de opto-aislador

3.4 Contaminante evaluado

3.4.1 Material particulado con diámetro menor a diez micras – PM_{10}

La característica más importante de las partículas (PM) es su tamaño o diámetro aerodinámico. Esta propiedad tiene el mayor impacto en el comportamiento de las partículas en el equipo de control, la atmósfera, y el tracto respiratorio. Las partículas de importancia en el control de la contaminación atmosférica abarcan una amplia gama de tamaño, desde el extremadamente pequeño como de 0.001 µm (micrómetro, 10-6 m), a más de 1.000 micrómetros (1 mm), sin embargo nos enfocamos en monitorear y estudiar las partículas de tamaños que se encuentran entre los 0.01 y 10 µm dado que son las más peligrosas para la salud y tienen la capacidad de penetrar al tracto respiratorio. Como marco de referencia, un cabello humano tiene un diámetro de unos 60 micrómetros aproximadamente.

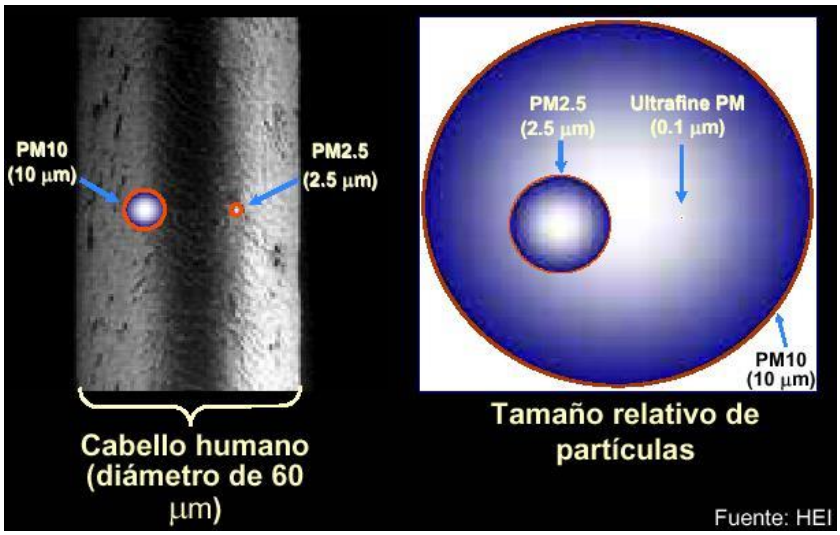


Imagen 3. Comparación del tamaño de referencia de las partículas con un cabello humano.

Un tamaño de partícula se expresa generalmente en términos de su diámetro aerodinámico en lugar de su diámetro real o físico. El término "diámetro aerodinámico" hace referencia al diámetro de una esfera de densidad uno (1) que posee la misma velocidad de sedimentación terminal que la partícula en cuestión.

De acuerdo con la Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA por sus siglas en inglés), el material particulado es una mezcla compuesta por partículas extremadamente pequeñas y gotas líquidas que se encuentran suspendidas en el aire. Sus impactos en la salud están determinados por la capacidad de penetrar en las vías respiratorias.

La contaminación del aire por partículas se compone principalmente de especies tales como nitratos, sulfatos, carbono orgánico, carbono elemental, Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP´s) y metales como el silicio, calcio, zinc, plomo, cadmio, hierro entre otros.

Las partículas se denominan de diferente manera según su tamaño:

- Partículas Suspendidas Totales (PST): Son todas las partículas que se encuentran en el aire sin importar su tamaño.
- PM_{10}: Partículas cuyo diámetro aerodinámico es menor o igual a 10 micrómetros.
- $PM_{2.5}$: Partículas cuyo diámetro aerodinámico es menor o igual a 2.5 micrómetros.
- Partículas Ultrafinas: Partículas cuyo diámetro aerodinámico es menor o igual al 0.1 micrómetros.

Las principales fuentes de emisión de este tipo de partículas son las vías y zonas erosionadas (polvo resuspendido), las fuentes fijas de combustión, los procesos industriales y agrícolas, las fuentes móviles y las fuentes naturales. Su composición depende de las actividades desarrolladas en el área y de la condiciones físicas y bióticas de su entorno, por lo tanto el ejemplo que se presenta a continuación es de tipo específico y no típico.

Impactos en la salud humana: Existe plena evidencia científica acerca de la relación entre la presencia de PM en el aire y efectos negativos en la salud respiratoria y cardiovascular de las personas. La peligrosidad del material particulado se encuentra asociado con su tamaño y con las sustancias tóxicas que se pueden adherir a su superficie (entre las que se incluyen metales pesados y bacterias). Las partículas más pequeñas pueden entrar y alcanzar lugares más profundos dentro del sistema respiratorio de las personas. Las partículas sólidas se pueden adherir en las paredes de la tráquea, bronquios y bronquiolos.

Los mecanismos que determinan cómo se comportan las partículas del aerosol y su tendencia a depositarse a su paso por las vías respiratorias son el impacto directo con las mismas (impactación), la intercepción, la sedimentación y la difusión.

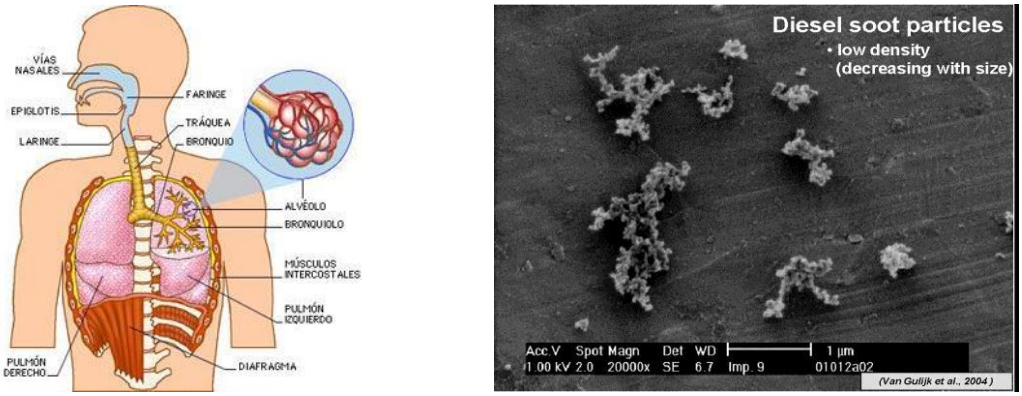


Imagen 4. Ilustración sobre el alojamiento del PM en el cuerpo y de partículas provenientes del Diesel.

3.4.2 Ozono Troposférico – O_3

El ozono es una molécula formada por 3 átomos de oxígeno y es una forma alotrópica del oxígeno, es un gas de color azul pálido y al licuarse forma un líquido azul oscuro. Químicamente es muy activo, es un oxidante muy fuerte por lo que se usa como germicida (mata organismos infecciosos) diluido se usa para esterilizar el agua, purificar el aire y llevar a cabo reacciones de oxidación en química orgánica. Se descompone rápidamente en oxígeno a temperaturas mayores a 100º C y a temperatura ambiente en presencia de catalizadores como el dióxido de manganeso, MnO_2.

El ozono troposférico. Este tipo de ozono es un contaminante que se genera en forma fotoquímica (es decir, una reacción provocada por la luz solar) en la troposfera (parte más baja de la atmósfera) debido a la presencia de óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles (COV) y monóxido de carbono (CO). Las tasas de emisión de estos compuestos precursores son reguladas con el fin de reducir al mínimo la tasa de formación de ozono y los productos de la reacción fotoquímica de otros. El carácter general de las reacciones fotoquímicas se ilustra con los perfiles de contaminantes de la de la siguiente figura los cuales que se determinaron en los estudios de la cámara de smog que simulan las masas de aire urbano (fuente U.S Environmental Protection Agency).

Las reacciones comienzan rápidamente después de la inyección de óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos, y el monóxido de carbono. El óxido nítrico (NO) emitido por la combustión de combustibles fósiles en calderas, automóviles, camiones se convierte rápidamente en dióxido de nitrógeno (NO_2) debido a las reacciones fotoquímicas. La formación de dióxido de nitrógeno, además estimula la formación de smog fotoquímico, porque el dióxido de nitrógeno es muy eficiente en laabsorción de la luz solar en la parte ultravioleta de su espectro.

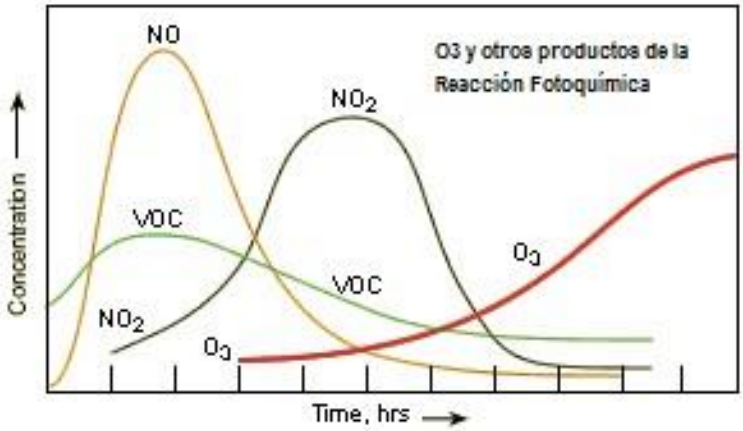


Imagen 5. Perfiles de concentración de contaminantes debido a las reacciones fotoquímicas.

Posteriormente, el dióxido de nitrógeno reacciona para formar nitratos, en ese momento se genera un aumento de los niveles de ozono. Junto con el aumento en el ozono, los niveles de diversos productos de la oxidación parcial también aumentan. Muchos de estos compuestos se encuentran en la forma de material particulado lo que genera una dispersión de la luz. Estas partículas crear el smog asociado con las reacciones fotoquímicas.

La formación de los niveles ambientales de ozono es mayor cuando hace buen tiempo (días soleados y cuando la intensidad solar es máxima) debido a que la intensidad de la luz solar necesaria para la reacción fotoquímica en marcha es más alta durante este período de tiempo. Es importante señalar que se han detectado en numerosos estudios otros picos de concentración más tardíos, e incluso nocturnos, como consecuencia de los movimientos de las masas de aire, que arrastra hacia zonas rurales el ozono formado en zonas urbanas e industriales (Moreno, 1998).

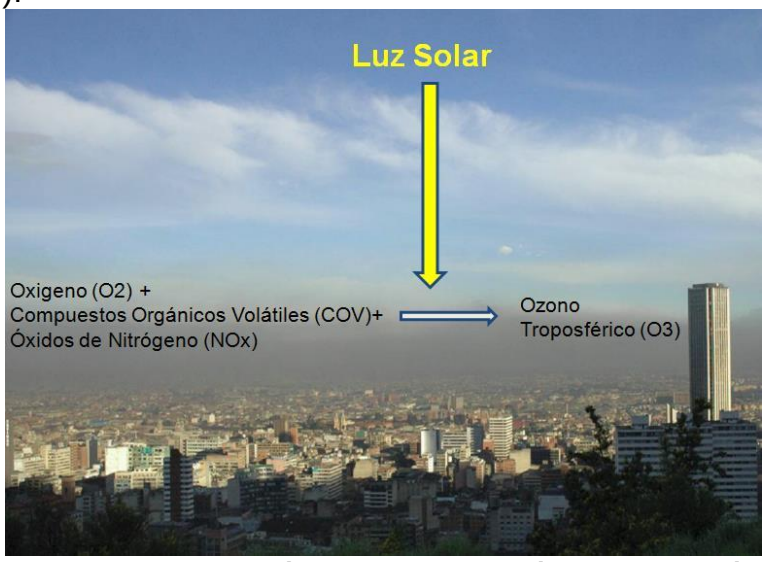


Imagen 6. Ozono troposférico y smog fotoquímico en Bogotá D.C.

Efectos en la Salud Humana: La exposición a ozono se produce practicante en el ambiente exterior, ya que la concentración de este gas en ambientes interiores es muy inferior.

El ozono produce efectos tóxicos en las personas y los animales. Es un potente irritante del tejido pulmonar, debido a su baja solubilidad en el agua, el ozono inhalado penetra hacia el interior del pulmón, alcanzando las mayores dosis por unidad de superficie en los bronquiolos terminales y conductos alveolares.

3.5 Tecnologías de monitoreo utilizadas

Tabla 6. Resumen de las tecnologías de monitoreo utilizadas SVCA CDMB

ESTACIÓN	CONTAMINANTE CRITERIO	PRINCIPIO DE OPERACIÓN	REGIMEN DE OPERACIÓN
Cabecera	PM_{10}	Concentración relativa por atenuación Beta.	Continuo - Automático
Ciudadela Real de Minas	PM_{10}	Concentración relativa por atenuación Beta.	Continuo - Automático
Florida	O_3	Método de absorción de rayos ultravioleta.	Continuo - Automático

4 RESULTADOS DE LOS MONITOREOS DE CALIDAD DEL AIRE

4.1 Gráficas de evolución diaria de la concentración de los contaminantes

4.1.1 Estación Cabecera PM_{10}

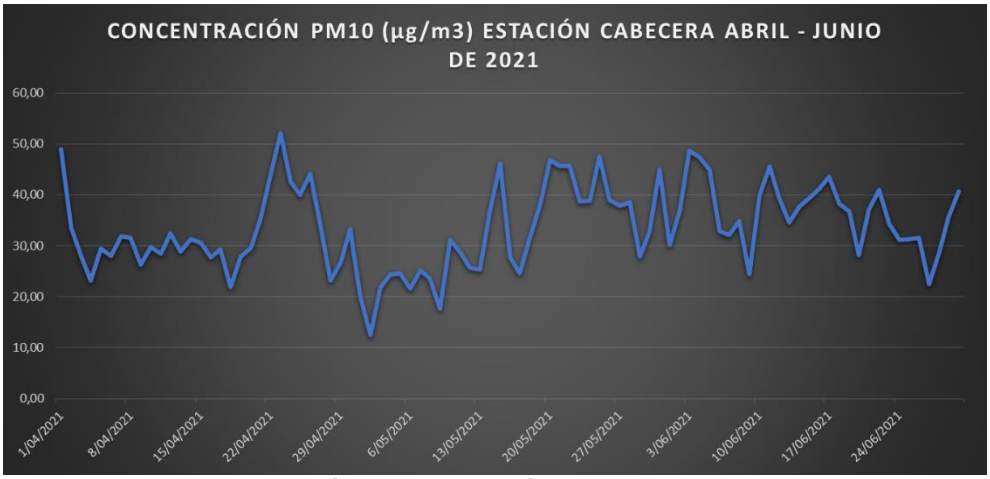


Imagen 7. Concentración PM10 Estación Cabecera Abril - Junio de 2021.

En la Imagen 7 se observa el comportamiento de la concentración del contaminante criterio PM_{10} durante el periodo de estudio en la estación Cabecera, a través de esta gráfica se puede observar, sin hacer la comparación con el nivel máximo permisible establecido en la Resolución MADS No. 2254 de 2017, que la evolución de la concentración del contaminante durante el periodo se mantuvo en una franja establecida, sin presentarse valores mínimos ni máximos muy drásticos, lo que refleja un comportamiento normal de la calidad del aire en la zona y la confiabilidad de la información suministrada por el analizador continuo automático.

4.1.2 Estación Ciudadela PM_{10}

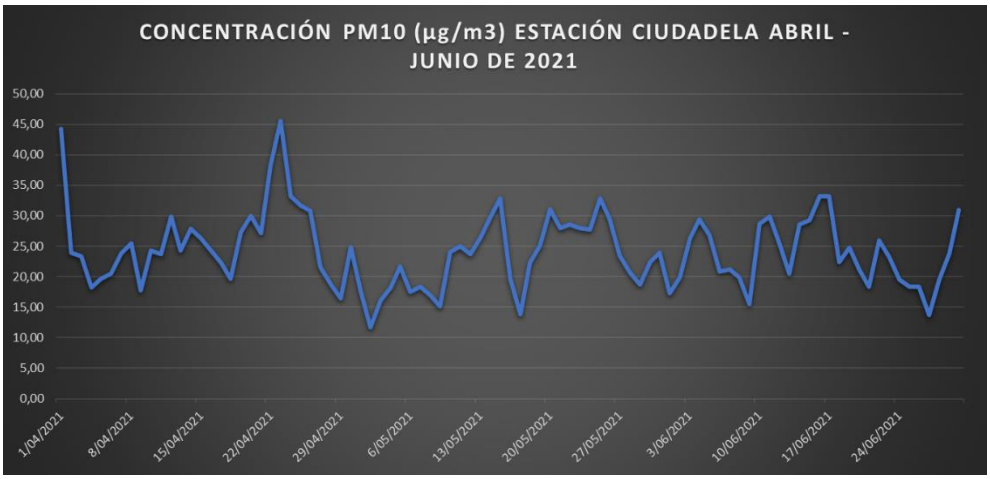


Imagen 8. Concentración PM10 Estación Ciudadela Abril - Junio de 2021.

En la Imagen 8 se observa el comportamiento de la concentración del contaminante criterio PM_{10} durante el periodo de estudio en la estación Ciudadela, a través de esta gráfica se puede observar que la evolución del contaminante durante el periodo es similar en la variación y en los valores a lo ocurrido en la estación Cabecera, no se observan mínimos y máximos que reflejen eventos puntuales de contaminación o dudas en la confiabilidad de los resultados suministrados por el analizador continuo automático.

4.1.3 Estación Florida O_3

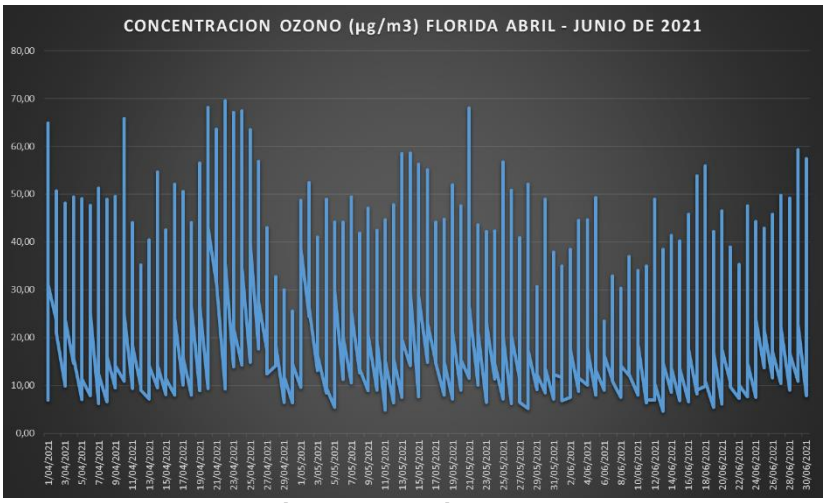


Imagen 9. Concentración O3 Estación Florida Abril - Junio de 2021.

En la Imagen 9 se observa el comportamiento de la concentración del contaminante criterio O_3 durante el periodo de estudio en la estación Florida, a través de esta gráfica se puede observar que dicho en la contaminante en la zona presenta valores realmente bajos y la curva de evolución permite inferir que no se presentaron anomalías atmosféricas o desde la óptica de las fuentes de emisión que ocasionaran aumentos súbitos en la concentración del contaminante, así mismo, consistente con la contextualización técnica plasmada en el informe, se puede inferir que existen bajas concentraciones de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's) y de Óxidos de Nitrógeno (NO_X), los cuales son los que reaccionan en presencia de radiación solar con el oxígeno diatómico (O_2) para la formación del Ozono a nivel troposférico.

4.2 Resultados estadísticos

Tabla 7. Resultados estadísticos Abril - Junio de 2021

VALOR ESTADÍSTICO	ESTACIÓN CABECERA (PM_{10})	ESTACIÓN CIUDADELA (PM_{10})	ESTACIÓN FLORIDA (O_3)
Valor Promedio	33,57	24,19	25,27
Valor Mínimo	12,48	11,73	4,56
Valor Máximo	52,11	45,56	69,53
# de Excedencias	0	0	0

4.3 Resultados consolidados

4.3.1 Estación Cabecera PM_{10}

Tabla 8. Resultados consolidados Concentración e ICA PM10 Estación Cabecera.

FECHA	CONCENTRACIÓN PM10 (µg/m3)	ICA
1/04/2021	49,00	45,37
2/04/2021	33,50	31,02
3/04/2021	27,91	25,84
4/04/2021	23,15	21,44
5/04/2021	29,38	27,20
6/04/2021	28,00	25,93
7/04/2021	31,90	29,54
8/04/2021	31,53	29,19
9/04/2021	26,26	24,31
10/04/2021	29,65	27,45
11/04/2021	28,37	26,27
12/04/2021	32,45	30,05
13/04/2021	28,88	26,74
14/04/2021	31,26	28,94
15/04/2021	30,57	28,31
16/04/2021	27,78	25,72
17/04/2021	29,22	27,06
18/04/2021	21,82	20,20
19/04/2021	27,88	25,81
20/04/2021	29,56	27,37
21/04/2021	35,15	32,55
22/04/2021	43,82	40,57
23/04/2021	52,11	48,25
24/04/2021	42,49	39,34
25/04/2021	40,01	37,05
26/04/2021	44,09	40,82
27/04/2021	34,01	31,49
28/04/2021	23,10	21,39
29/04/2021	26,72	24,74
30/04/2021	33,32	30,85
1/05/2021	20,01	18,53
2/05/2021	12,48	11,56
3/05/2021	21,86	20,24

4/05/2021	24,25	22,45
5/05/2021	24,65	22,82
6/05/2021	21,54	19,94
7/05/2021	25,21	23,34
8/05/2021	23,65	21,90
9/05/2021	17,55	16,25
10/05/2021	31,17	28,86
11/05/2021	28,78	26,65
12/05/2021	25,78	23,87
13/05/2021	25,30	23,43
14/05/2021	36,86	34,13
15/05/2021	46,13	42,71
16/05/2021	27,72	25,67
17/05/2021	24,64	22,81
18/05/2021	31,61	29,27
19/05/2021	37,95	35,14
20/05/2021	46,80	43,33
21/05/2021	45,74	42,35
22/05/2021	45,70	42,31
23/05/2021	38,73	35,86
24/05/2021	38,91	36,03
25/05/2021	47,53	44,01
26/05/2021	38,96	36,07
27/05/2021	37,88	35,07
28/05/2021	38,50	35,65
29/05/2021	27,87	25,81
30/05/2021	32,77	30,34
31/05/2021	45,01	41,68
1/06/2021	30,16	27,93
2/06/2021	37,03	34,29
3/06/2021	48,72	45,11
4/06/2021	47,44	43,93
5/06/2021	44,96	41,63
6/06/2021	32,86	30,43
7/06/2021	32,18	29,80
8/06/2021	34,83	32,25
9/06/2021	24,38	22,57
10/06/2021	39,95	36,99

11/06/2021	45,47	42,10
12/06/2021	39,46	36,54
13/06/2021	34,51	31,95
14/06/2021	37,68	34,89
15/06/2021	39,42	36,50
16/06/2021	41,11	38,06
17/06/2021	43,59	40,36
18/06/2021	38,23	35,40
19/06/2021	36,67	33,95
20/06/2021	28,19	26,10
21/06/2021	37,13	34,38
22/06/2021	40,93	37,90
23/06/2021	34,24	31,70
24/06/2021	31,12	28,81
25/06/2021	31,26	28,94
26/06/2021	31,63	29,29
27/06/2021	22,41	20,75
28/06/2021	28,74	26,61
29/06/2021	35,70	33,06
30/06/2021	40,70	37,69

4.3.2 Estación Ciudadela PM_{10}

Tabla 9. Resultados consolidados Concentración e ICA PM10 Estación Ciudadela.

FECHA	CONCENTRACIÓN PM10 (µg/m3)	ICA
1/04/2021	44,23	40,95
2/04/2021	23,93	22,16
3/04/2021	23,33	21,60
4/04/2021	18,29	16,94
5/04/2021	19,62	18,17
6/04/2021	20,44	18,93
7/04/2021	23,86	22,09
8/04/2021	25,48	23,59
9/04/2021	17,74	16,43
10/04/2021	24,25	22,45
11/04/2021	23,72	21,96
12/04/2021	29,93	27,71
13/04/2021	24,25	22,45
14/04/2021	27,82	25,76

15/04/2021	26,35	24,40
16/04/2021	24,26	22,46
17/04/2021	22,32	20,67
18/04/2021	19,66	18,20
19/04/2021	27,31	25,29
20/04/2021	29,98	27,76
21/04/2021	27,13	25,12
22/04/2021	38,13	35,31
23/04/2021	45,56	42,19
24/04/2021	33,14	30,69
25/04/2021	31,63	29,29
26/04/2021	30,80	28,52
27/04/2021	21,50	19,91
28/04/2021	18,79	17,40
29/04/2021	16,41	15,19
30/04/2021	24,84	23,00
1/05/2021	17,88	16,56
2/05/2021	11,73	10,86
3/05/2021	16,04	14,85
4/05/2021	18,29	16,94
5/05/2021	21,73	20,12
6/05/2021	17,55	16,25
7/05/2021	18,33	16,97
8/05/2021	16,87	15,62
9/05/2021	15,13	14,01
10/05/2021	24,06	22,28
11/05/2021	25,03	23,18
12/05/2021	23,65	21,90
13/05/2021	26,40	24,44
14/05/2021	29,60	27,41
15/05/2021	32,86	30,43
16/05/2021	19,62	18,17
17/05/2021	13,89	12,86
18/05/2021	22,23	20,58
19/05/2021	25,11	23,25
20/05/2021	31,08	28,78
21/05/2021	27,98	25,91
22/05/2021	28,51	26,40

23/05/2021	27,96	25,89
24/05/2021	27,73	25,68
25/05/2021	32,82	30,39
26/05/2021	29,52	27,33
27/05/2021	23,47	21,73
28/05/2021	20,76	19,22
29/05/2021	18,70	17,31
30/05/2021	22,41	20,75
31/05/2021	23,93	22,16
1/06/2021	17,31	16,03
2/06/2021	19,94	18,46
3/06/2021	26,35	24,40
4/06/2021	29,43	27,25
5/06/2021	26,77	24,79
6/06/2021	20,85	19,31
7/06/2021	21,18	19,61
8/06/2021	19,89	18,42
9/06/2021	15,45	14,31
10/06/2021	28,69	26,56
11/06/2021	29,93	27,71
12/06/2021	25,21	23,34
13/06/2021	20,53	19,01
14/06/2021	28,51	26,40
15/06/2021	29,33	27,16
16/06/2021	33,18	30,72
17/06/2021	33,14	30,69
18/06/2021	22,37	20,71
19/06/2021	24,80	22,96
20/06/2021	21,13	19,56
21/06/2021	18,41	17,05
22/06/2021	25,97	24,05
23/06/2021	23,19	21,47
24/06/2021	19,57	18,12
25/06/2021	18,33	16,97
26/06/2021	18,38	17,02
27/06/2021	13,75	12,73
28/06/2021	19,48	18,04
29/06/2021	23,83	22,06

30/06/2021	30,94	28,65

4.3.3 Estación Florida O_3

Tabla 10. Resultados consolidados Concentración e ICA O3 Estación Florida.

FECHA	HORA	CONCENTRACION OZONO (µg/m3)	ICA
1/04/2021	8:00:00 a. m.	6,93	3,27
1/04/2021	4:00:00 p. m.	64,86	30,59
1/04/2021	12:00:00 a. m.	31,11	14,67
2/04/2021	8:00:00 a. m.	23,60	11,13
2/04/2021	4:00:00 p. m.	50,68	23,91
2/04/2021	12:00:00 a. m.	20,91	9,86
3/04/2021	8:00:00 a. m.	9,80	4,62
3/04/2021	4:00:00 p. m.	48,13	22,70
3/04/2021	12:00:00 a. m.	23,69	11,17
4/04/2021	8:00:00 a. m.	14,60	6,89
4/04/2021	4:00:00 p. m.	49,40	23,30
4/04/2021	12:00:00 a. m.	15,74	7,42
5/04/2021	8:00:00 a. m.	7,10	3,35
5/04/2021	4:00:00 p. m.	49,08	23,15
5/04/2021	12:00:00 a. m.	11,31	5,33
6/04/2021	8:00:00 a. m.	7,84	3,70
6/04/2021	4:00:00 p. m.	47,64	22,47
6/04/2021	12:00:00 a. m.	25,42	11,99
7/04/2021	8:00:00 a. m.	6,22	2,93
7/04/2021	4:00:00 p. m.	51,25	24,17
7/04/2021	12:00:00 a. m.	12,39	5,84
8/04/2021	8:00:00 a. m.	6,61	3,12
8/04/2021	4:00:00 p. m.	48,96	23,09
8/04/2021	12:00:00 a. m.	16,14	7,61
9/04/2021	8:00:00 a. m.	9,49	4,48
9/04/2021	4:00:00 p. m.	49,58	23,39
9/04/2021	12:00:00 a. m.	14,21	6,70
10/04/2021	8:00:00 a. m.	10,88	5,13
10/04/2021	4:00:00 p. m.	65,87	31,07
10/04/2021	12:00:00 a. m.	25,03	11,81
11/04/2021	8:00:00 a. m.	9,40	4,43
11/04/2021	4:00:00 p. m.	44,10	20,80
11/04/2021	12:00:00 a. m.	18,39	8,67

12/04/2021	8:00:00 a. m.	9,81	4,63
12/04/2021	4:00:00 p. m.	35,17	16,59
12/04/2021	12:00:00 a. m.	9,06	4,27
13/04/2021	8:00:00 a. m.	7,23	3,41
13/04/2021	4:00:00 p. m.	40,42	19,07
13/04/2021	12:00:00 a. m.	14,12	6,66
14/04/2021	8:00:00 a. m.	9,53	4,50
14/04/2021	4:00:00 p. m.	54,69	25,80
14/04/2021	12:00:00 a. m.	14,23	6,71
15/04/2021	8:00:00 a. m.	8,15	3,84
15/04/2021	4:00:00 p. m.	42,50	20,05
15/04/2021	12:00:00 a. m.	11,43	5,39
16/04/2021	8:00:00 a. m.	7,97	3,76
16/04/2021	4:00:00 p. m.	52,05	24,55
16/04/2021	12:00:00 a. m.	24,06	11,35
17/04/2021	8:00:00 a. m.	10,03	4,73
17/04/2021	4:00:00 p. m.	50,57	23,85
17/04/2021	12:00:00 a. m.	15,94	7,52
18/04/2021	8:00:00 a. m.	8,04	3,79
18/04/2021	4:00:00 p. m.	44,09	20,80
18/04/2021	12:00:00 a. m.	26,47	12,49
19/04/2021	8:00:00 a. m.	8,87	4,18
19/04/2021	4:00:00 p. m.	56,52	26,66
19/04/2021	12:00:00 a. m.	26,80	12,64
20/04/2021	8:00:00 a. m.	9,35	4,41
20/04/2021	4:00:00 p. m.	68,15	32,15
20/04/2021	12:00:00 a. m.	42,96	20,26
21/04/2021	8:00:00 a. m.	31,49	14,85
21/04/2021	4:00:00 p. m.	63,62	30,01
21/04/2021	12:00:00 a. m.	31,77	14,99
22/04/2021	8:00:00 a. m.	9,32	4,40
22/04/2021	4:00:00 p. m.	69,53	32,80
22/04/2021	12:00:00 a. m.	35,61	16,80
23/04/2021	8:00:00 a. m.	13,91	6,56
23/04/2021	4:00:00 p. m.	67,15	31,67
23/04/2021	12:00:00 a. m.	21,95	10,35
24/04/2021	8:00:00 a. m.	14,30	6,75
24/04/2021	4:00:00 p. m.	67,48	31,83
24/04/2021	12:00:00 a. m.	34,59	16,32
25/04/2021	8:00:00 a. m.	14,80	6,98

25/04/2021	4:00:00 p. m.	63,46	29,93
25/04/2021	12:00:00 a. m.	39,75	18,75
26/04/2021	8:00:00 a. m.	17,69	8,34
26/04/2021	4:00:00 p. m.	56,90	26,84
26/04/2021	12:00:00 a. m.	27,37	12,91
27/04/2021	8:00:00 a. m.	17,46	8,24
27/04/2021	4:00:00 p. m.	43,02	20,29
27/04/2021	12:00:00 a. m.	12,39	5,84
28/04/2021	8:00:00 a. m.	14,11	6,66
28/04/2021	4:00:00 p. m.	32,78	15,46
28/04/2021	12:00:00 a. m.	18,37	8,67
29/04/2021	8:00:00 a. m.	6,46	3,05
29/04/2021	4:00:00 p. m.	29,95	14,13
29/04/2021	12:00:00 a. m.	11,79	5,56
30/04/2021	8:00:00 a. m.	6,41	3,02
30/04/2021	4:00:00 p. m.	25,50	12,03
30/04/2021	12:00:00 a. m.	14,55	6,86
1/05/2021	8:00:00 a. m.	9,61	4,53
1/05/2021	4:00:00 p. m.	48,75	23,00
1/05/2021	12:00:00 a. m.	38,77	18,29
2/05/2021	8:00:00 a. m.	24,35	11,49
2/05/2021	4:00:00 p. m.	52,48	24,75
2/05/2021	12:00:00 a. m.	26,29	12,40
3/05/2021	8:00:00 a. m.	13,09	6,17
3/05/2021	4:00:00 p. m.	41,09	19,38
3/05/2021	12:00:00 a. m.	16,41	7,74
4/05/2021	8:00:00 a. m.	8,51	4,01
4/05/2021	4:00:00 p. m.	48,96	23,09
4/05/2021	12:00:00 a. m.	9,48	4,47
5/05/2021	8:00:00 a. m.	5,44	2,57
5/05/2021	4:00:00 p. m.	44,12	20,81
5/05/2021	12:00:00 a. m.	29,91	14,11
6/05/2021	8:00:00 a. m.	11,27	5,32
6/05/2021	4:00:00 p. m.	44,12	20,81
6/05/2021	12:00:00 a. m.	20,25	9,55
7/05/2021	8:00:00 a. m.	10,57	4,99
7/05/2021	4:00:00 p. m.	49,45	23,33
7/05/2021	12:00:00 a. m.	25,50	12,03
8/05/2021	8:00:00 a. m.	12,64	5,96
8/05/2021	4:00:00 p. m.	41,88	19,75

8/05/2021	12:00:00 a. m.	13,47	6,35
9/05/2021	8:00:00 a. m.	8,88	4,19
9/05/2021	4:00:00 p. m.	47,07	22,20
9/05/2021	12:00:00 a. m.	20,71	9,77
10/05/2021	8:00:00 a. m.	8,99	4,24
10/05/2021	4:00:00 p. m.	42,48	20,04
10/05/2021	12:00:00 a. m.	19,46	9,18
11/05/2021	8:00:00 a. m.	4,83	2,28
11/05/2021	4:00:00 p. m.	44,68	21,08
11/05/2021	12:00:00 a. m.	15,04	7,09
12/05/2021	8:00:00 a. m.	6,31	2,98
12/05/2021	4:00:00 p. m.	47,76	22,53
12/05/2021	12:00:00 a. m.	15,70	7,41
13/05/2021	8:00:00 a. m.	7,57	3,57
13/05/2021	4:00:00 p. m.	58,50	27,59
13/05/2021	12:00:00 a. m.	19,67	9,28
14/05/2021	8:00:00 a. m.	14,19	6,69
14/05/2021	4:00:00 p. m.	58,56	27,62
14/05/2021	12:00:00 a. m.	29,75	14,03
15/05/2021	8:00:00 a. m.	7,68	3,62
15/05/2021	4:00:00 p. m.	56,26	26,54
15/05/2021	12:00:00 a. m.	28,81	13,59
16/05/2021	8:00:00 a. m.	14,85	7,00
16/05/2021	4:00:00 p. m.	55,09	25,99
16/05/2021	12:00:00 a. m.	23,10	10,90
17/05/2021	8:00:00 a. m.	14,84	7,00
17/05/2021	4:00:00 p. m.	44,19	20,84
17/05/2021	12:00:00 a. m.	14,58	6,88
18/05/2021	8:00:00 a. m.	7,97	3,76
18/05/2021	4:00:00 p. m.	44,71	21,09
18/05/2021	12:00:00 a. m.	15,00	7,08
19/05/2021	8:00:00 a. m.	7,16	3,38
19/05/2021	4:00:00 p. m.	51,92	24,49
19/05/2021	12:00:00 a. m.	21,13	9,97
20/05/2021	8:00:00 a. m.	9,04	4,26
20/05/2021	4:00:00 p. m.	47,55	22,43
20/05/2021	12:00:00 a. m.	15,40	7,26
21/05/2021	8:00:00 a. m.	11,49	5,42
21/05/2021	4:00:00 p. m.	68,06	32,10
21/05/2021	12:00:00 a. m.	26,61	12,55

22/05/2021	8:00:00 a. m.	10,11	4,77
22/05/2021	4:00:00 p. m.	43,57	20,55
22/05/2021	12:00:00 a. m.	21,10	9,95
23/05/2021	8:00:00 a. m.	6,46	3,05
23/05/2021	4:00:00 p. m.	42,20	19,91
23/05/2021	12:00:00 a. m.	23,25	10,97
24/05/2021	8:00:00 a. m.	11,42	5,39
24/05/2021	4:00:00 p. m.	42,37	19,99
24/05/2021	12:00:00 a. m.	14,66	6,92
25/05/2021	8:00:00 a. m.	7,12	3,36
25/05/2021	4:00:00 p. m.	56,74	26,76
25/05/2021	12:00:00 a. m.	20,45	9,65
26/05/2021	8:00:00 a. m.	6,27	2,96
26/05/2021	4:00:00 p. m.	50,76	23,94
26/05/2021	12:00:00 a. m.	20,40	9,62
27/05/2021	8:00:00 a. m.	11,33	5,34
27/05/2021	4:00:00 p. m.	40,89	19,29
27/05/2021	12:00:00 a. m.	6,44	3,04
28/05/2021	8:00:00 a. m.	5,19	2,45
28/05/2021	4:00:00 p. m.	52,11	24,58
28/05/2021	12:00:00 a. m.	17,36	8,19
29/05/2021	8:00:00 a. m.	9,15	4,32
29/05/2021	4:00:00 p. m.	30,66	14,46
29/05/2021	12:00:00 a. m.	12,43	5,86
30/05/2021	8:00:00 a. m.	8,40	3,96
30/05/2021	4:00:00 p. m.	48,93	23,08
30/05/2021	12:00:00 a. m.	13,54	6,39
31/05/2021	8:00:00 a. m.	7,12	3,36
31/05/2021	4:00:00 p. m.	37,90	17,88
31/05/2021	12:00:00 a. m.	12,27	5,79
1/06/2021	8:00:00 a. m.	11,73	5,53
1/06/2021	4:00:00 p. m.	34,95	16,49
1/06/2021	12:00:00 a. m.	6,84	3,23
2/06/2021	8:00:00 a. m.	7,58	3,58
2/06/2021	4:00:00 p. m.	38,52	18,17
2/06/2021	12:00:00 a. m.	17,67	8,33
3/06/2021	8:00:00 a. m.	8,86	4,18
3/06/2021	4:00:00 p. m.	44,47	20,98
3/06/2021	12:00:00 a. m.	11,60	5,47
4/06/2021	8:00:00 a. m.	10,06	4,75

4/06/2021	4:00:00 p. m.	44,62	21,05
4/06/2021	12:00:00 a. m.	17,69	8,34
5/06/2021	8:00:00 a. m.	7,99	3,77
5/06/2021	4:00:00 p. m.	49,32	23,26
5/06/2021	12:00:00 a. m.	13,28	6,26
6/06/2021	8:00:00 a. m.	9,00	4,25
6/06/2021	4:00:00 p. m.	23,50	11,08
6/06/2021	12:00:00 a. m.	16,31	7,69
7/06/2021	8:00:00 a. m.	11,13	5,25
7/06/2021	4:00:00 p. m.	32,90	15,52
7/06/2021	12:00:00 a. m.	10,92	5,15
8/06/2021	8:00:00 a. m.	7,56	3,57
8/06/2021	4:00:00 p. m.	30,28	14,28
8/06/2021	12:00:00 a. m.	14,18	6,69
9/06/2021	8:00:00 a. m.	12,08	5,70
9/06/2021	4:00:00 p. m.	36,97	17,44
9/06/2021	12:00:00 a. m.	12,25	5,78
10/06/2021	8:00:00 a. m.	7,95	3,75
10/06/2021	4:00:00 p. m.	34,08	16,08
10/06/2021	12:00:00 a. m.	18,61	8,78
11/06/2021	8:00:00 a. m.	6,36	3,00
11/06/2021	4:00:00 p. m.	34,98	16,50
11/06/2021	12:00:00 a. m.	6,92	3,26
12/06/2021	8:00:00 a. m.	6,95	3,28
12/06/2021	4:00:00 p. m.	48,91	23,07
12/06/2021	12:00:00 a. m.	10,47	4,94
13/06/2021	8:00:00 a. m.	4,56	2,15
13/06/2021	4:00:00 p. m.	38,44	18,13
13/06/2021	12:00:00 a. m.	14,68	6,92
14/06/2021	8:00:00 a. m.	8,62	4,07
14/06/2021	4:00:00 p. m.	41,41	19,53
14/06/2021	12:00:00 a. m.	13,71	6,47
15/06/2021	8:00:00 a. m.	6,79	3,20
15/06/2021	4:00:00 p. m.	40,19	18,96
15/06/2021	12:00:00 a. m.	13,53	6,38
16/06/2021	8:00:00 a. m.	6,58	3,10
16/06/2021	4:00:00 p. m.	45,84	21,62
16/06/2021	12:00:00 a. m.	17,52	8,26
17/06/2021	8:00:00 a. m.	8,26	3,90
17/06/2021	4:00:00 p. m.	53,81	25,38

17/06/2021	12:00:00 a. m.	9,07	4,28
18/06/2021	8:00:00 a. m.	9,82	4,63
18/06/2021	4:00:00 p. m.	55,92	26,38
18/06/2021	12:00:00 a. m.	10,84	5,11
19/06/2021	8:00:00 a. m.	5,42	2,56
19/06/2021	4:00:00 p. m.	42,17	19,89
19/06/2021	12:00:00 a. m.	17,00	8,02
20/06/2021	8:00:00 a. m.	6,10	2,88
20/06/2021	4:00:00 p. m.	46,46	21,92
20/06/2021	12:00:00 a. m.	17,53	8,27
21/06/2021	8:00:00 a. m.	10,73	5,06
21/06/2021	4:00:00 p. m.	38,89	18,34
21/06/2021	12:00:00 a. m.	9,75	4,60
22/06/2021	8:00:00 a. m.	7,24	3,42
22/06/2021	4:00:00 p. m.	35,36	16,68
22/06/2021	12:00:00 a. m.	10,05	4,74
23/06/2021	8:00:00 a. m.	7,66	3,61
23/06/2021	4:00:00 p. m.	47,56	22,43
23/06/2021	12:00:00 a. m.	14,78	6,97
24/06/2021	8:00:00 a. m.	7,58	3,58
24/06/2021	4:00:00 p. m.	44,32	20,91
24/06/2021	12:00:00 a. m.	23,87	11,26
25/06/2021	8:00:00 a. m.	13,69	6,46
25/06/2021	4:00:00 p. m.	42,89	20,23
25/06/2021	12:00:00 a. m.	21,69	10,23
26/06/2021	8:00:00 a. m.	11,60	5,47
26/06/2021	4:00:00 p. m.	45,80	21,60
26/06/2021	12:00:00 a. m.	17,02	8,03
27/06/2021	8:00:00 a. m.	10,39	4,90
27/06/2021	4:00:00 p. m.	49,80	23,49
27/06/2021	12:00:00 a. m.	22,42	10,58
28/06/2021	8:00:00 a. m.	9,08	4,28
28/06/2021	4:00:00 p. m.	49,22	23,22
28/06/2021	12:00:00 a. m.	16,85	7,95
29/06/2021	8:00:00 a. m.	10,91	5,15
29/06/2021	4:00:00 p. m.	59,25	27,95
29/06/2021	12:00:00 a. m.	22,74	10,73
30/06/2021	8:00:00 a. m.	7,87	3,71
30/06/2021	4:00:00 p. m.	57,45	27,10
30/06/2021	12:00:00 a. m.	9,72	4,58

4.4 Comparación con la norma

4.4.1 Estación Cabecera PM_{10}

Imagen 10. Comparación normativa PM10 Estación Cabecera Abril - Junio de 2021.

En la Imagen 10 puede observarse que la concentración medida para el parámetro PM_{10} en la Estación Cabecera para el periodo Abril - Junio de 2021 en ningún momento superó el nivel máximo permisible establecido en la Resolución MADS No. 2254 de 2017, no obstante para realizar un análisis completo de la contaminación por material particulado en una determinada zona, es necesario monitorear también el parámetro $PM_{2.5}$ teniendo en cuenta que es este el que se aloja con más facilidad en las vías respiratorias de las personas, aunque el PM_{10} ya hace parte de la fracción respirable de las partículas suspendidas en el aire.

4.4.2 Estación Ciudadela PM_{10}

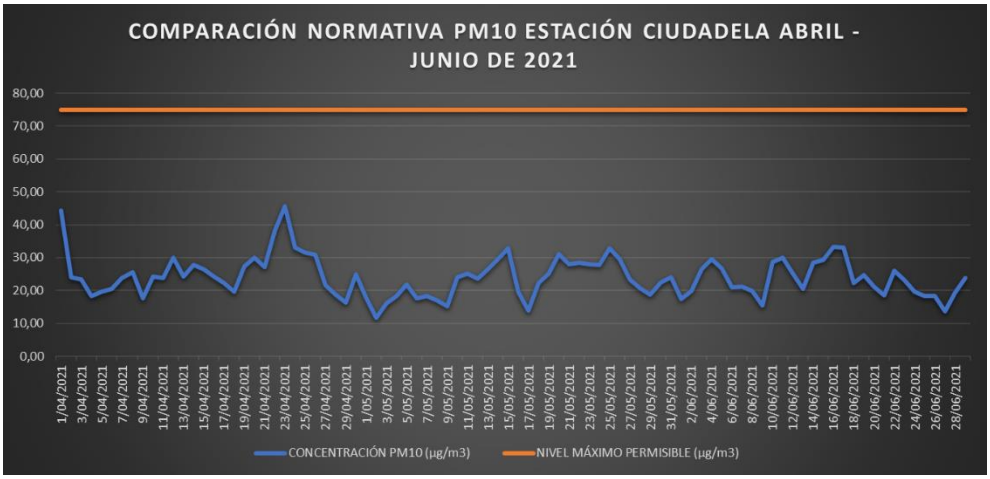


Imagen 11. Comparación normativa PM10 Estación Ciudadela Abril - Junio de 2021.

En la Imagen 11 se observa igualmente que la concentración medida para el contaminante criterio PM_{10} en la Estación Ciudadela para el periodo Abril - Junio de 2021, en ningún momento superó el nivel máximo permisible establecido en la Resolución MADS No. 2254 de 2017.

4.4.3 Estación Florida O_3

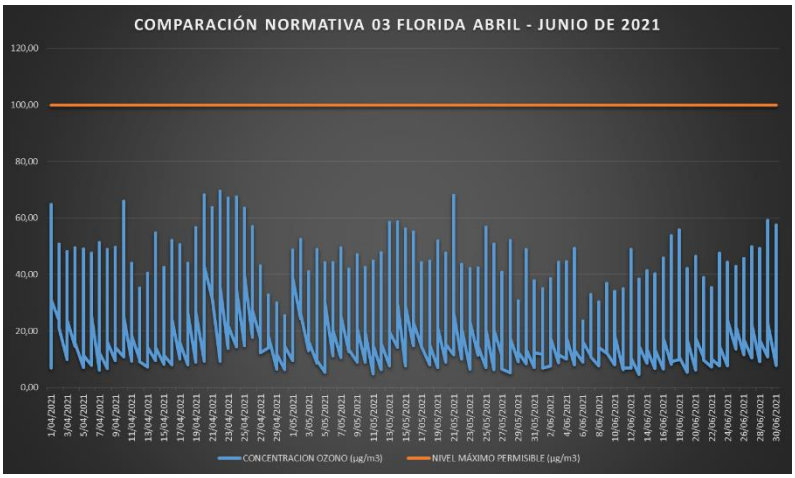


Imagen 12. Comparación normativa O3 Estación Florida Abril - Junio de 2021.

En la Imagen 12 se observa igualmente que la concentración medida para el contaminante criterio Ozono Troposférico O_3 en la Estación Florida para el periodo Abril - Junio de 2021, en ningún momento superó el nivel máximo permisible establecido en la Resolución MADS No. 2254 de 2017.

4.5 Cálculo del índice de calidad del aire – ICA para cada estación

4.5.1 Estación Cabecera PM_{10}

Imagen 13. ICA PM10 Estación Cabecera Abril Junio de 2021.

En la Imagen 13 se observa la evolución del ICA para el contaminante PM_{10} en la Estación Cabecera en el periodo Abril Junio de 2021, en dicha gráfica se observa que el ICA para PM_{10} en el periodo de estudio se sitúo siempre en la categoría de BUENA y solo un día, específicamente el 23 de abril de 2021 se ubicó sobre la frontera entre BUENA y ACEPTABLE. En este sentido, de acuerdo al parámetro PM_{10} la calidad del aire para el sector de cabecera no representa un riesgo para la salud humana, ni siquiera para grupos sensibles.

4.5.2 Estación Ciudadela PM_{10}

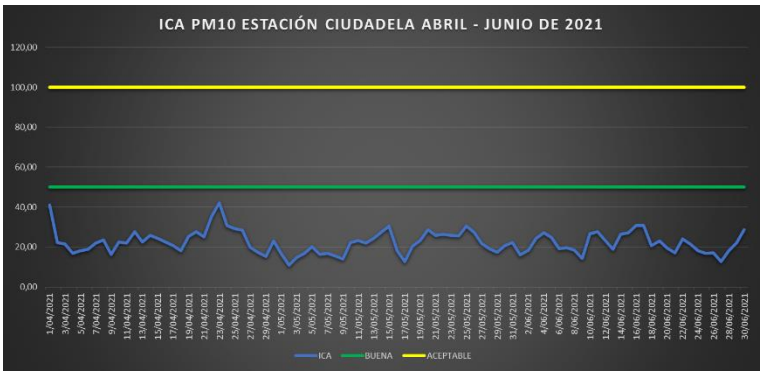


Imagen 14. ICA PM10 Estación Ciudadela Abril - Junio de 2021.

En la Imagen 14 se observa la evolución del ICA para el contaminante PM_{10} en la Estación Ciudadela en el periodo Abril Junio de 2021, en dicha gráfica se observa que la categoría para el parámetro PM_{10} en el periodo de estudio es BUENA, y no se observan días en los que se haya acercado a la frontera o límite con la categoría de ACEPTABLE, esto a pesar de que la zona de Real de Minas se caracteriza por el alto flujo vehicular y congestión en horas pico, no se evidencia un impacto sobre la calidad del aire que comprometa el bienestar de la población.

4.5.3 Estación Florida O_3

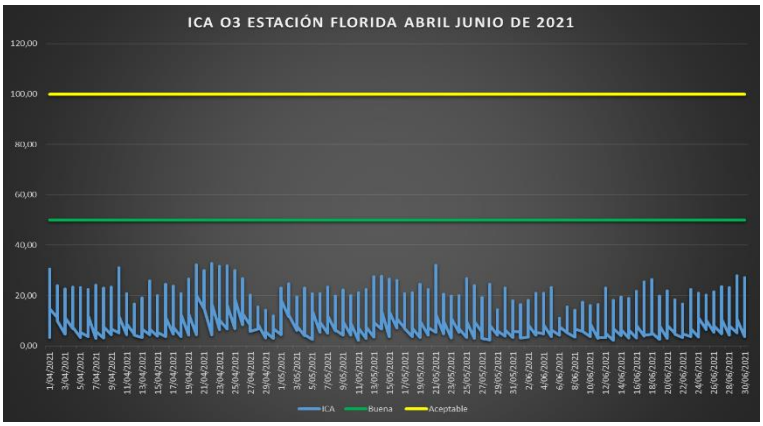


Imagen 15. ICA O3 Estación Florida Enero Marzo de 2021.

La gráfica de evolución del ICA para el contaminante criterio O_3 en la Estación Florida para el periodo Abril Junio de 2021, es más favorable que la registrada en las estaciones Cabecera y Ciudadela, dado que como lo muestra la gráfica, los valores del ICA se mantuvieron en todo el periodo se mantuvieron dentro de la categoría de calidad del aire BUENA y alejados de la transición hacia la otra categoría.

Como se mencionó anteriormente, químicamente el Ozono Troposférico se forma por reacción química del oxígeno diatómico en la tropósfera con los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles COV's, en presencia de radiación solar como agente catalizador, por lo que los bajos valores de O_3 en las capas bajas de la atmósfera permite inferir concentraciones bajas de los contaminantes precursores, los cuales también representan riesgos a las personas a diferentes tiempos de exposición.

4.6 Análisis de datos atípicos

En lo que respecta al análisis de datos atípicos, es necesario indicar que durante el segundo trimestre de 2021 no se presentaron datos atípicos en las estaciones ubicadas en los sectores de Cabecera y la Ciudadela Real de Minas en Bucaramanga y en el sector de Cañaveral en Floridablanca.

Por otra parte, durante el periodo se presentaron datos ausentes, debido a dificultades ajenas a la CDMB consistentes en el suministro de energía para las estaciones, los periodos con datos ausentes son excluidos del informe para no afectar la calidad y la continuidad de los análisis, teniendo en cuenta que no afectan la representatividad de los datos obtenidos, debido a que la cantidad de datos validados supera el 75% del total del trimestre, cumpliendo con el criterio mínimo establecido en el Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire emitido por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.

4.7 Particularidades del periodo

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM publica el Boletín No. 155 *SEGUIMIENTO AL CICLO ENOS El Niño – Oscilación del Sur* sobre el estado actual del Fenómeno del Niño en el territorio nacional.

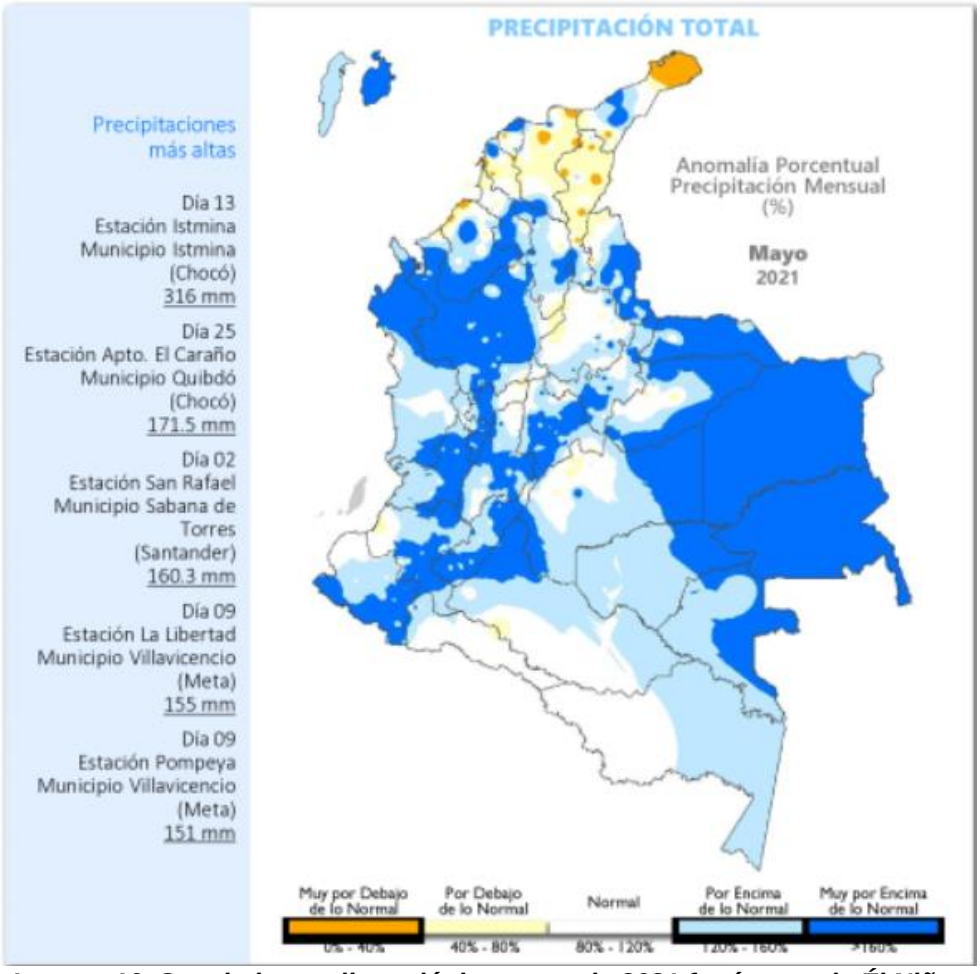


Imagen 16. Seguimiento climatológico mayo de 2021 fenómeno de Él Niño.

En la imagen 16 se observa que las lluvias muy por debajo de lo normal se destacaron en la región insular Caribe, sectores del oriente en el Caribe continental y áreas de Cauca, Caquetá y Amazonas. El rango por debajo de lo normal se registró en la mayor parte Del norte del país, sur de la Amazonía y sectores de Chocó. La condición por encima de lo normal se concentró en áreas de las regiones Orinoquía y Amazonía, incluyendo sectores del centro y sur de la región Pacífica. Las lluvias muy por encima de los valores medios se destacaron al oriente y sur de la región Andina, incluyendo áreas del nororiente de la Amazonía. En áreas restantes, las precipitaciones se registraron en el rango de la normalidad.

5 METEOROLOGÍA DEL PERIODO

5.1 Gráficas de comportamiento mensual

5.1.1 Temperatura

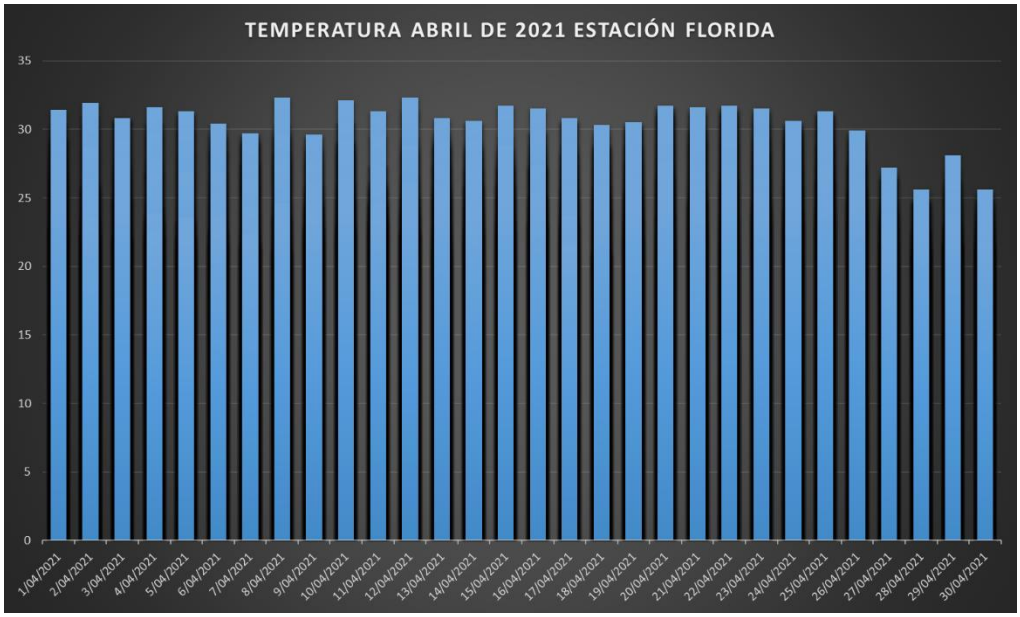


Imagen 17. Comportamiento de la Temperatura Abril de 2021 Estación Florida.

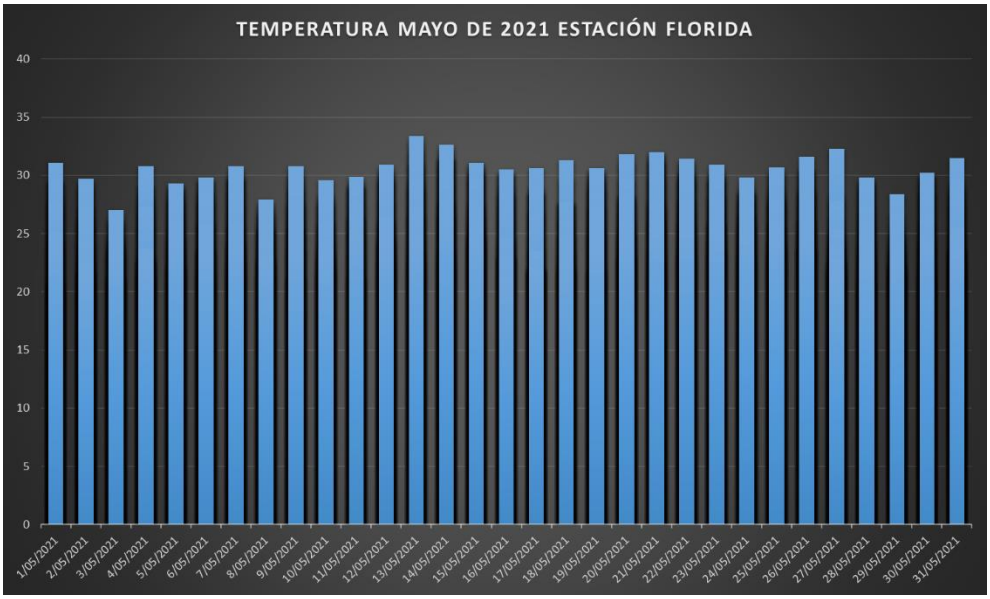


Imagen 18. Comportamiento de la Temperatura Mayo de 2021 Estación Florida.

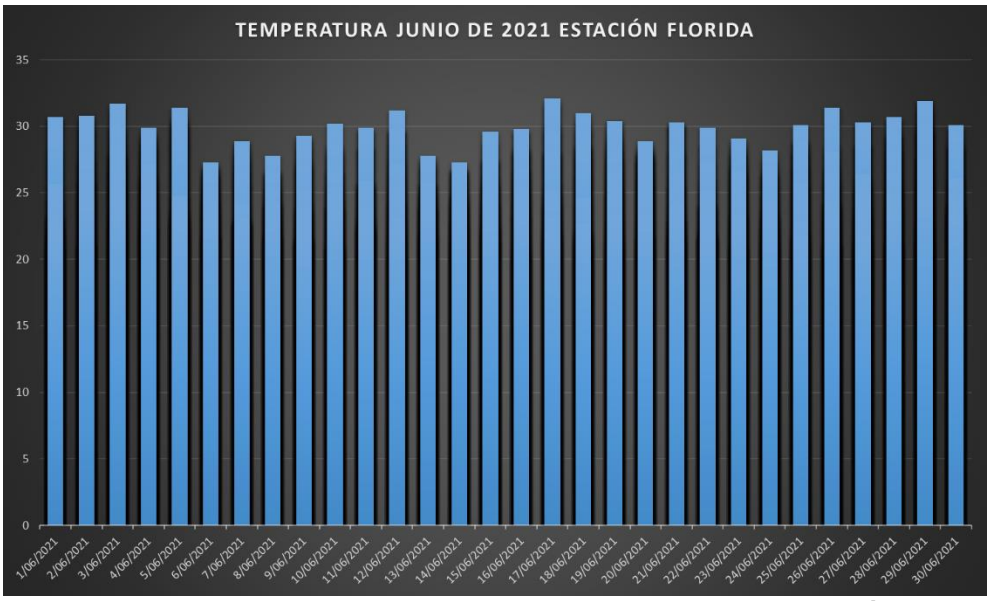


Imagen 19. Comportamiento de la Temperatura Junio de 2021 Estación Florida.

En las imágenes 17, 18 y 19 se observa el comportamiento de la temperatura durante los meses de abril, mayo y junio de 2021 en la Estación Florida, respectivamente. A partir de la lectura e interpretación de dichas ilustraciones se puede concluir que no se presentaron eventos de variabilidad climática en el municipio que ocasionaran un comportamiento atípico de este parámetro meteorológico, el valor promedio se situó alrededor de los 25°C para los tres meses pertenecientes al periodo en estudio.

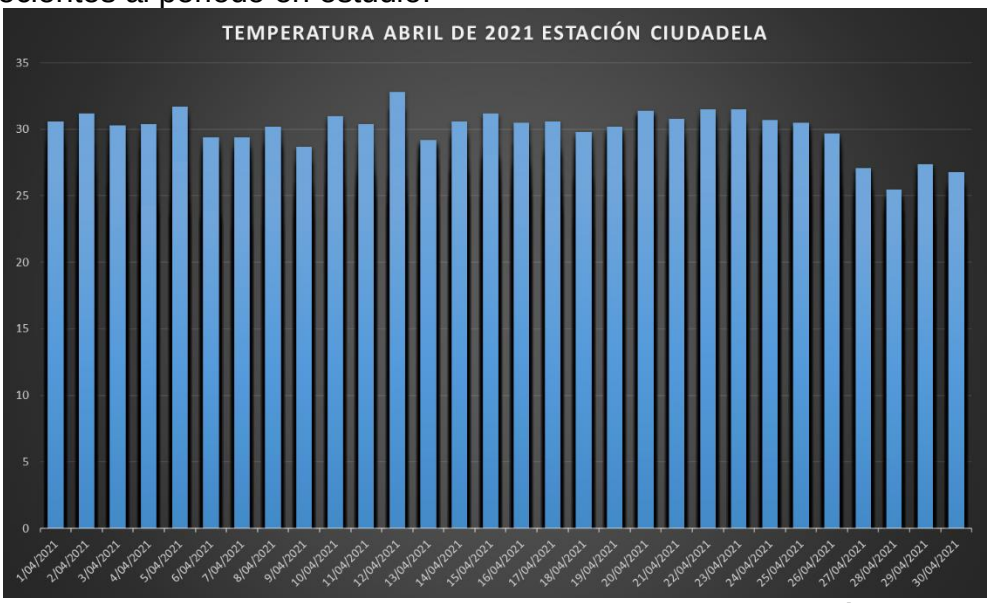


Imagen 20. Comportamiento de la Temperatura Abril de 2021 Estación Ciudadela.

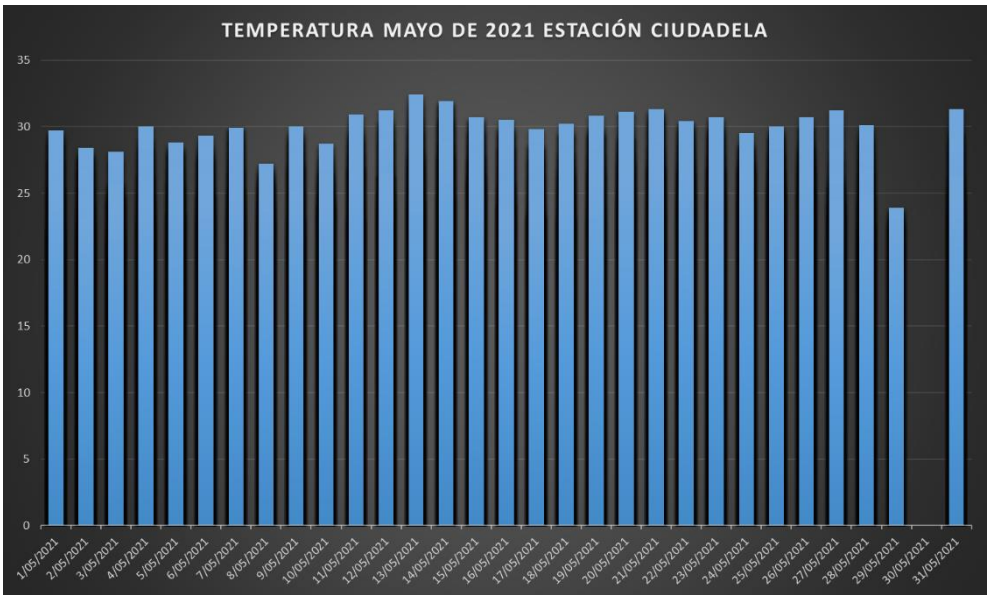


Imagen 21. Comportamiento de la Temperatura Mayo de 2021 Estación Ciudadela.

En las imágenes 20 y 21 se observa el comportamiento de la temperatura para los meses de abril y mayo en la Estación Ciudadela, respectivamente. A partir de la lectura e interpretación de dichas ilustraciones se puede concluir que no se presentaron eventos de variabilidad climática en el municipio que ocasionaran un comportamiento atípico de este parámetro meteorológico, el valor promedio se situó alrededor de los 26°C para los meses en mención, es de anotar que durante el mes de junio se presentaron días sin lectura en una cantidad de días superior al 25% del mes, razón por la cual no se presentan los datos para el sexto mes del año.

5.1.2 Precipitación

Imagen 22. Comportamiento de la Precipitación (mm) Abril de 2021 Estación Ciudadela.

Imagen 23. Comportamiento de la Precipitación (mm) Mayo de 2021 Estación Ciudadela.

Imagen 24. Comportamiento de la Precipitación (mm) Junio de 2021 Estación Ciudadela.

En las imágenes 22, 23 y 24 se observa el comportamiento de la precipitación durante los meses de abril, mayo y junio de 2021 en la Estación Ciudadela, respectivamente. De la lectura de los datos se colige que el mes con la precipitación acumulada mas alta fue abril con un total de 90,2 mm, seguido de junio con 64 mm y por último mayo con 30,4 mm de lamina de agua. De la misma manera fue durante el mes de abril cuando se presentó la máxima precipitación acumulada para un solo día, ocurrida el día 27 de abril para un total de 52,2 mm de precipitación, seguido del 01 de junio con 22,8 mm y por último 9,8 mm el 02 de mayo de 2021.

5.1.3 Rosa de vientos

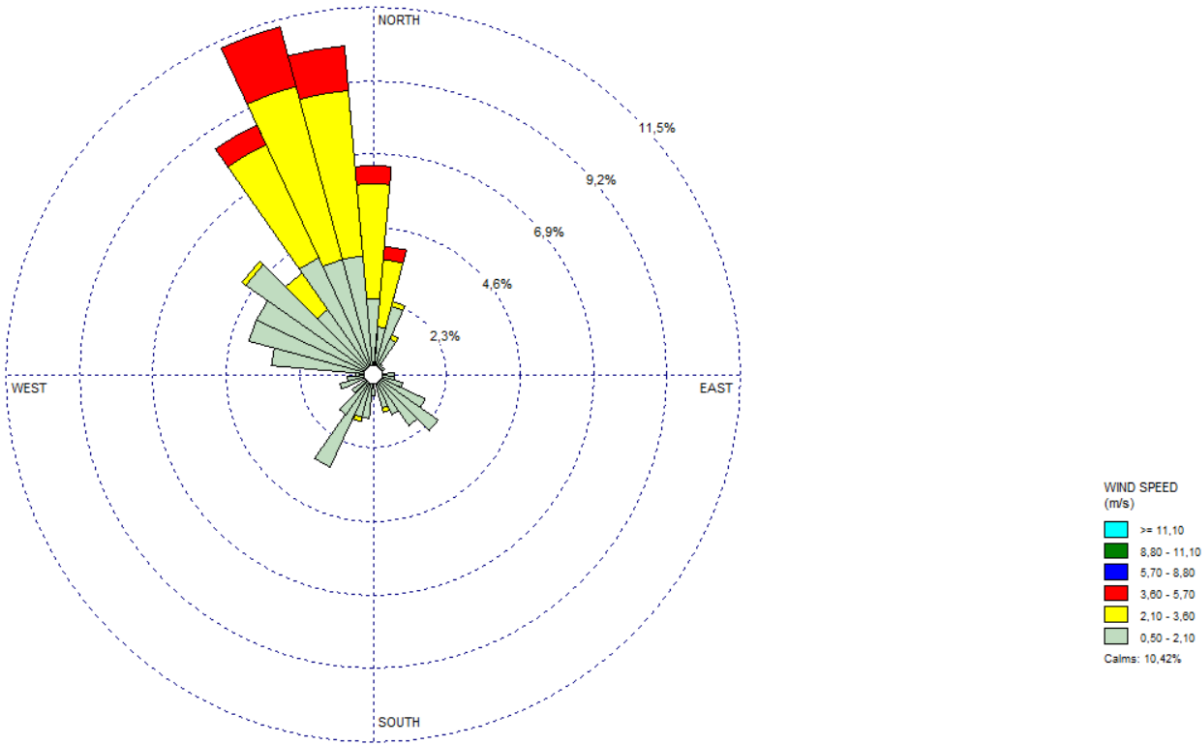


Imagen 25. Rosa de los vientos Estación Ciudadela Abril de 2021.

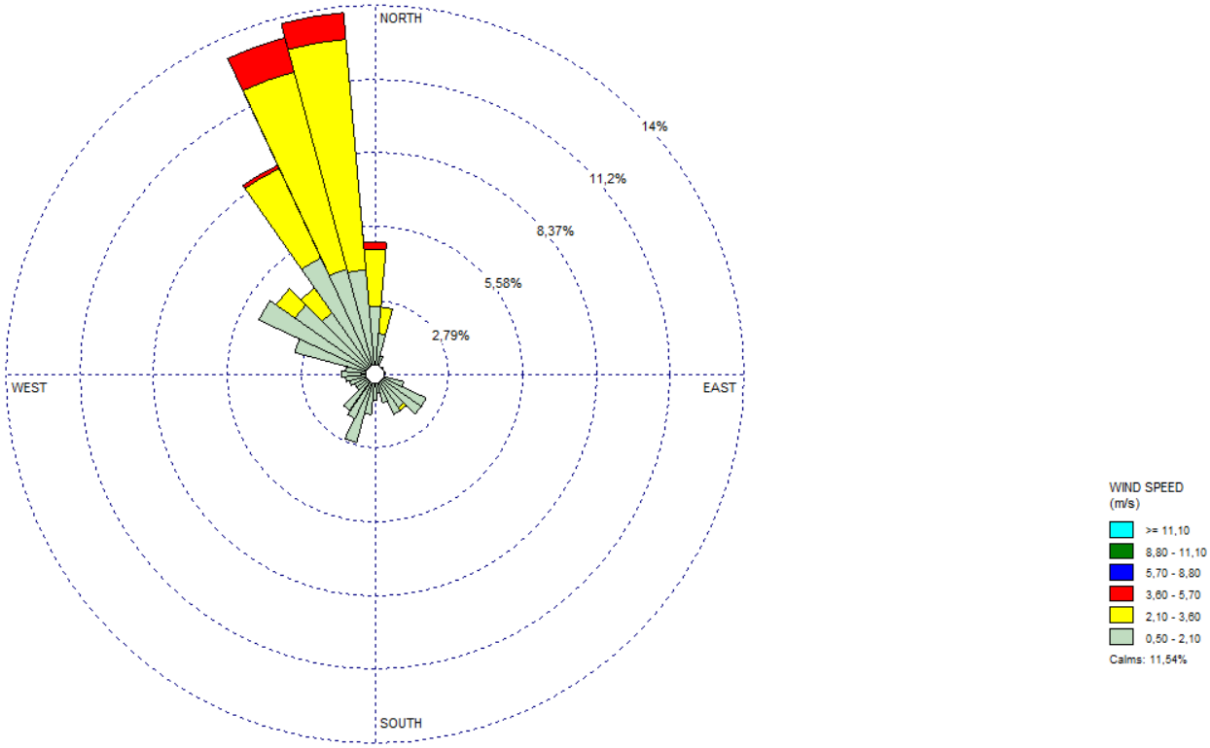


Imagen 26. Rosa de vientos Estación Ciudadela Mayo de 2021.

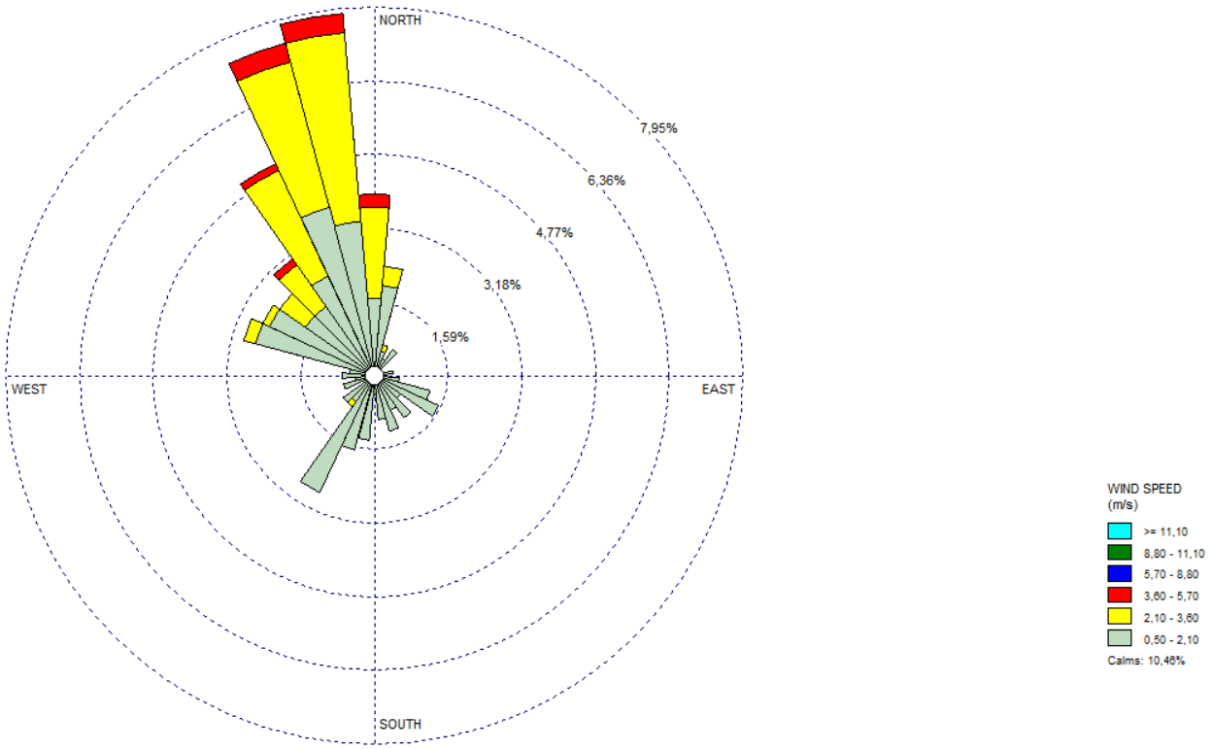


Imagen 27. Rosa de los vientos Estación Ciudadela Junio de 2021.

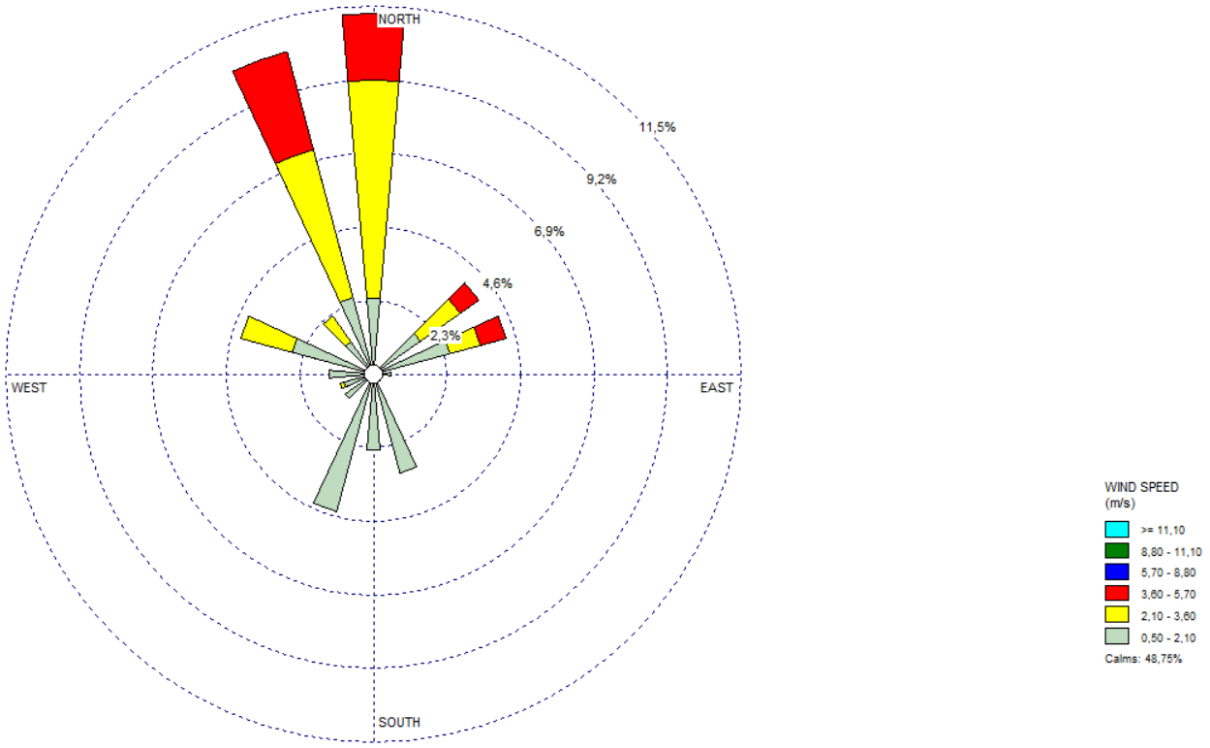


Imagen 28. Rosa de los vientos Estación Florida Abril de 2021.

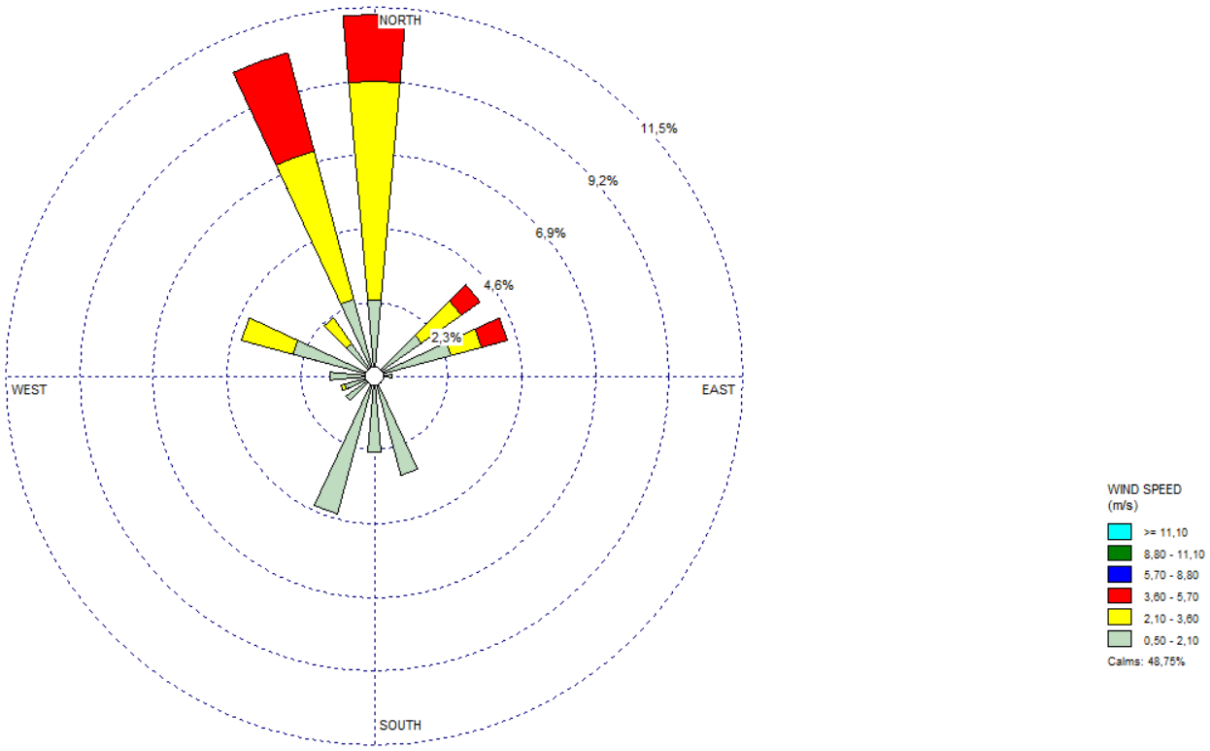


Imagen 29. Rosa de los vientos Estación Florida Mayo de 2021.

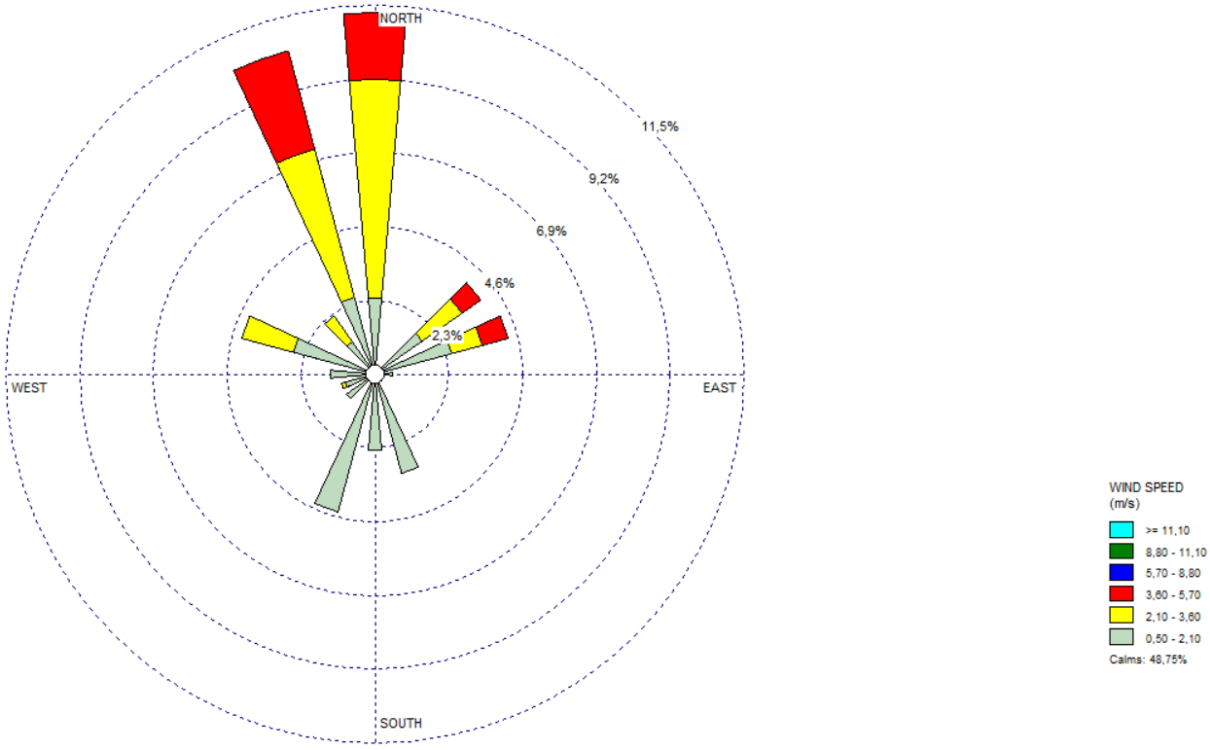


Imagen 30. Rosa de los vientos Estación Florida Junio de 2021.

6 GESTIONES DE LA CDMB EN MATERIA DE CALIDAD DEL AIRE

6.1 Sistema de Alertas Tempranas de Olores Ofensivos (SAT) y Modernización del Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire de la CDMB.

En el marco de la ejecución del Contrato No. 12942 – 03 suscrito con la empresa K2 INGENIERÍA S.A.S., en el mes de junio de 2021 se inició la instalación de las microestaciones tipo MetPole que conformarán el Sistema de Alertas Tempranas de Olores Ofensivos (SAT).

Imagen 31. Instalación micro estación tipo MetPole Barrio Gaitán

Imagen 32. Instalación micro estación tipo MetPole Barrio Nariño.

Imagen 33. Instalación micro estación tipo MetPole Barrio La Joya

7 CONCLUSIONES

- Para el periodo comprendido entre el 01 de abril y el 30 de junio de 2021 no se registraron excedencias del valor de la concentración del contaminante criterio PM_{10} para las estaciones Cabecera y Ciudadela Real de Minas, con respecto a los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución MADS No. 2254 de 2017.

- Para el periodo comprendido entre el 01 de abril y el 30 de junio de 2021 no se registraron excedencias del valor de la concentración del contaminante criterio O_3 para la Estación Florida, con respecto al límite máximo permisible establecido en la Resolución MADS No. 2254 de 2017.

- De acuerdo al ICA calculado para el contaminante criterio PM_{10} en las estaciones Cabecera y Ciudadela Real de Minas, la calidad del aire en dichos puntos durante el periodo comprendido entre el 01 de abril y el 30 de junio de 2021 se ubicó en la categoría de BUENA, de acuerdo con lo establecido en la Resolución MADS No. 2254 de 2017.

- De acuerdo al ICA calculado para el contaminante criterio O_3 en la Estación Florida, la calidad del aire en dicho punto se ubicó en la categoría de BUENA para el periodo comprendido entre el 01 de abril y el 30 de junio de 2021, de acuerdo con la Resolución MADS No. 2254 de 2017.