

boletín ambiental

Septiembre de 2018

Instituto de Estudios Ambientales IDEA - Sede Manizales **149**

Sistema Integrado de Monitoreo Ambiental de Caldas – SIMAC Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire en Manizales



Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire en Manizales

Beatriz Helena Aristizábal Zuluaga^a, María Camila Valencia Cárdenas^a, Camilo Zapata Mora^a, Carlos Mario González Duque^a, Andrea Patricia Cuesta Mosquera^a, Jade Alexandra Li Ramírez^a, Mauricio Velasco^b

^a Grupo de Trabajo Académico en Ingeniería Hidráulica y Ambiental (GTAIHA)

^b Corporación Autónoma Regional de Caldas, Corpocaldas

La dinámica actual de la población tiene mayor necesidad de consumo debido a su acelerado crecimiento. Esta dinámica trae consigo una mayor producción industrial, altos índices de motorización y por ende mayores niveles de emisión de contaminantes, entre los cuales se destacan el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO₂), ozono troposférico (O₃) y material particulado (PM). Lo anterior genera impactos negativos en la calidad del aire de los centros urbanos y en los ecosistemas circundantes.

Como se muestra en la Figura 1, en la dinámica del Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA) intervienen diferentes elementos que requieren una clasificación para lograr un mayor entendimiento del mismo. En este sentido, las emisiones son ocasio-

nadas principalmente por fuentes antropogénicas como el parque automotor y la producción industrial, o por fuentes naturales, como en el caso de la ciudad de Manizales, las emisiones generadas por el volcán Nevado del Ruiz. Estas emisiones van a la atmósfera donde se ven afectadas por las condiciones climáticas que favorecen o no las reacciones químicas, deposición, dispersión y transporte de los contaminantes. El objetivo de las estaciones de monitoreo instaladas en la ciudad es cuantificar los diferentes contaminantes presentes en el aire ambiente. Posteriormente, estos datos son procesados y publicados periódicamente, generando información de gran utilidad para la toma de decisiones que permitan alcanzar un desarrollo sostenible para la ciudad y una adecuada gestión de la calidad del aire.

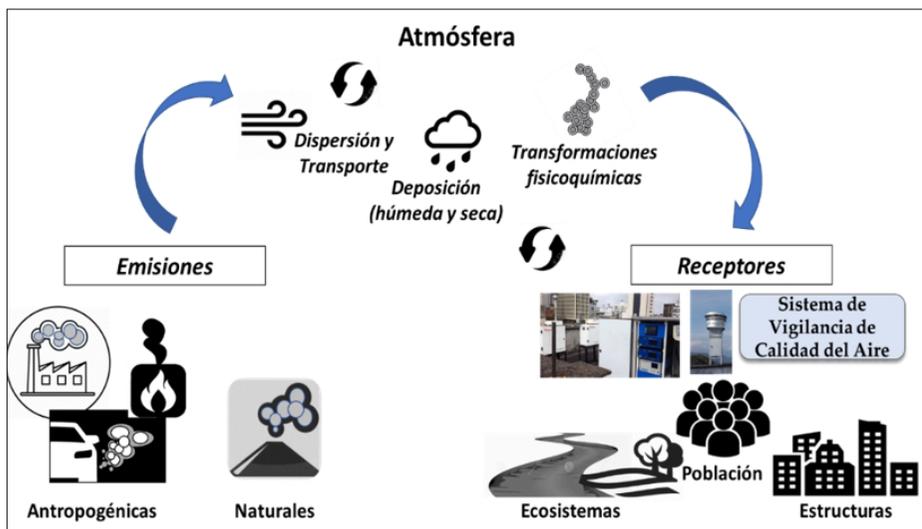


Figura 1. Esquema del SVCA Fuente: propia

En la ciudad de Manizales se cuenta con un SVCA cuyo objetivo es cuantificar la cantidad de contaminantes que están siendo descargados a la atmósfera. Este sistema está compuesto por diferentes estaciones, cinco en total, distribuidas en diferentes puntos de la ciudad. La Figura 2 muestra la estación Gobernación que cuenta con equipos para la medición de gases y material particulado. Adicional a la cuantificación por medio de los equipos de monitoreo hay un conjunto de actividades como el análisis, procesamiento y publicación de datos en el CDIAC (Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas) y en el SISAIRE – IDEAM, lo cual

permite a las entidades públicas, privadas y población en general acceder a la información de manera oportuna y así tener conocimiento de la calidad del aire en los diferentes sectores.

El objetivo de este boletín es presentar información sobre las estaciones de monitoreo de contaminantes del aire, de los equipos y los contaminantes que son monitoreados en el Sistema de Vigilancia de Calidad de Aire de la ciudad, operados actualmente por el Grupo de Trabajo Académico en Ingeniería Hidráulica y Ambiental (GTAIHA) de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales y la autoridad ambiental (CORPOCALDAS).



Figura 2. Estación Gobernación Centro Histórico de Manizales Fuente: propia

ESTACIONES DE MONITOREO

Actualmente Manizales cuenta con cinco puntos alrededor de la ciudad donde están ubicados los equipos de monitoreo y se miden diferentes tipos de contaminantes denominados contaminantes criterio, de gran importancia según la Organización Mundial de la Salud. En el grupo de contaminantes criterio se encuentran los gases monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), dióxido de azufre (SO₂) y ozono troposférico (O₃). Asimismo, también hacen parte contaminantes de tipo material particulado en dos tamaños de partícula: menor a 10 micras (PM₁₀) y menor a 2.5 micras (PM_{2.5}). La ubicación de las estaciones se muestra en la Figura 3; en esta se especifica el tipo de contaminante que se mide en cada estación.

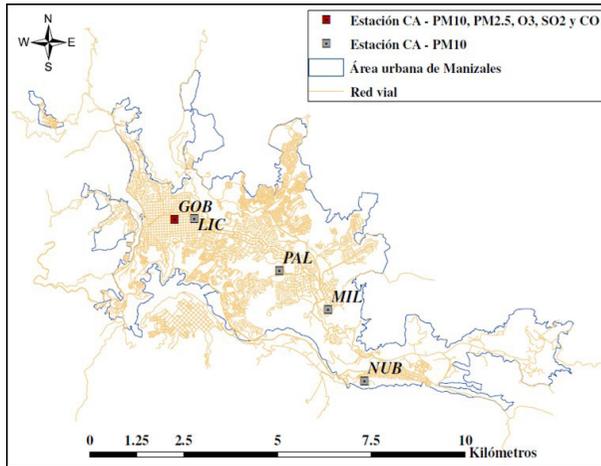


Figura 3. Estaciones de monitoreo de calidad de aire en Manizales

La Tabla 1 muestra las coordenadas de las estaciones y su altitud sobre el nivel del mar. Puede observarse que a pesar de que Manizales tiene un área pequeña, los cambios topográficos hacen que la ciudad tenga diferencia de altura y características especiales para cada estación.

Tabla 1. Características de las estaciones de calidad del aire de Manizales

Estación – Contaminante	Características y fuentes de contaminantes*	Año Instalación	Latitud / Longitud	Altitud ms.n.m.
Gobernación - PM ₁₀		2009		
Gobernación - PM _{2.5}		2009		
Gobernación - SO ₂	CU, SC – MTV, PAI	2014	N 5° 4' 6.53" W 75° 31' 1.54"	2125
Gobernación - O ₃		2014		
Gobernación – CO		2018		
Palogrande - PM ₁₀	ZC, SR - ATV, SAI	2009	N 5° 3' 22.4" W 75° 29' 31.3"	2154
La Nubia - PM ₁₀	ZSE, SR - BTV, AZI	2009	N 5° 1' 47.0" W 75° 28' 18"	2091
Liceo - PM ₁₀	CU, SC - ATV, PAI	2000	N 5° 4' 5.01" W 75° 30' 37.58"	2156
Milán - PM ₁₀				

*Características: SR sector residencial, SC sector comercial, ZSE zona sureste, CU centro urbano, ZC zona central, ZI zona industrial. Fuentes de contaminación: ATV alto tráfico vehicular, MTV moderado tráfico vehicular, BTV bajo tráfico vehicular, AAI alta actividad industrial, MAI moderada actividad industrial, PAI pequeña actividad industrial, AZI adyacente a zona industrial, SAI sin actividad industrial.

Cada estación de monitoreo se encuentra influenciada por diferentes fuentes de emisión, lo cual está relacionado con las actividades desarrolladas en la zona en que están instaladas, además del tipo de sector al que pertenezcan en la ciudad. A continuación, se muestran fotografías de cada estación.



Figura 4. Gobernación de Caldas, edificio Licorera
Fuente: agenciadenoticias.unal.edu.co



Figura 5. Estación de monitoreo Gobernación
Fuente: propia



Figura 6. Liceo Isabel La Católica
Fuente: mapio.net/pic/p-81603657



Figura 7. Equipo PM₁₀ estación Liceo
Fuente: propia

Ambas estaciones, Gobernación (Figura 4 y 5) y Liceo (Figura 6 y 7), tienen en común los tipos de fuente de emisión. Por su ubicación, sobre el centro urbano y principal sector comercial de la ciudad, las emisiones están influenciadas por un tráfico vehicular medio y alto respectivamente, además por una baja actividad industrial.

**Estación Palogrande
Instalada en el año 2009**



Figura 8. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Campus Palogrande
Fuente: www.facebook.com/unmanizales



Figura 9. Equipo PM₁₀ estación Palogrande
Fuente: propia

**Estación Milán
Instalada en el año 2012**



Figura 10. Incolma
Fuente: Google Maps



Figura 11. Equipo PM₁₀ estación Milán
Fuente: propia

La estación Palogrande (Figuras 8 y 9) y Milán (Figuras 10 y 11) están ubicadas en el centro geográfico de la ciudad en un sector residencial. Palogrande está influenciada por un tráfico vehicular medio. La estación Milán tiene influencia tanto de tráfico vehicular como de una parte de zona industrial.



**Estación Nubia
Instalada en el año 2009**

Figura 12. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Campus La Nubia
Fuente: Google Maps



Figura 13. Equipo PM₁₀ Nubia
Fuente: propia

La estación Nubia (Figuras 12 y 13) se encuentra en la zona sureste de la ciudad, en un sector residencial adyacente a la zona industrial en el campus La Nubia de la universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. La influencia del tráfico vehicular en esta zona es baja.

SISTEMA DE MONITOREO ACTIVO

Actualmente el SVCA de la ciudad de Manizales cuenta con 6 equipos de material particulado, uno de ellos mide PM_{2.5} y los demás PM₁₀; en cuanto al monitoreo de los gases se cuenta con una estación automática con equipos individuales que miden SO₂, O₃ y CO. Los equipos instalados están distribuidos en cada estación como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Contaminantes monitoreados en el SVCA de Manizales

Estación	Contaminante	Estado año 2018	Periodicidad de cuantificación de contaminantes
Estación semiautomática			
Gobernación	PM ₁₀	Operando	Cada 3 días
	PM _{2.5}	Operando	
	SO ₂	Mantenimiento	-
	O ₃	Operando	Cinco minutos
	CO	Operando	
Estaciones manuales			
Palogrande	PM ₁₀	Operando	Cada 3 días
La Nubia	PM ₁₀	Operando	
Liceo	PM ₁₀	Operando	
Milán	PM ₁₀	Operando	

Cada contaminante se mide con una periodicidad específica (Tabla 2). Por ejemplo, el material particulado se mide cada 3 días y se toma una muestra integrada de 24 horas. De otra parte, los equipos de gases, los cuales son automáticos, miden la concentración de los contaminantes cada 5 minutos, lo que permite observar el cambio de la concentración del contaminante durante el día.

Cada equipo de monitoreo opera bajo un método de ensayo específico que admite cuantificar las emisiones según cada tipo de contaminante. Todos estos equipos tienen una bomba de succión de aire y un medidor de volumen (requi-

riendo conexión eléctrica) que deja conocer el volumen de aire que ingresa al equipo y así obtener la concentración exacta de contaminante. Teniendo en cuenta esto, el mantenimiento y calibración de cada equipo se hace periódicamente, cada uno con herramientas y parámetros específicos que hacen posible que todas las estaciones funcionen de manera óptima. A continuación se muestra una descripción general de los equipos y el principio de funcionamiento básico de cada uno.

MATERIAL PARTICULADO, PM_{10} Y $PM_{2.5}$

Muestreador Hi-Vol - Thermo 1200/VFC HVPM10

El funcionamiento del equipo de monitoreo de alto volumen consiste en una caja de muestreo que contiene un filtro de cuarzo a través del cual se genera una succión de una cantidad cuantificable de volumen de aire ambiente en un tiempo determinado (24 horas); para este caso, el monitoreo es cada tres días. El filtro de 8x10 pulgadas se pesa antes y después del monitoreo (almacenado en desecador para retirar humedad del ambiente), con el objetivo de determinar el peso neto ganado posterior al monitoreo, es decir, la masa de material particulado presente en el aire. En cuanto al volumen de aire (alrededor de 1200 m³), este se determina a partir de la velocidad de flujo promedio y del tiempo de muestreo del equipo. La concentración de material particulado se reporta en unidades $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a condiciones estándar ($T = 25^\circ\text{C}$ y $P = 1 \text{ atm}$). El muestreador de alto volumen que se encuentra en las estaciones manuales de la ciudad se muestra en la Figura 14, el cual permite determinar PM_{10} en las estaciones Liceo, Milán, Nubia y Palogrande. El equipo de PM_{10} de la estación Gobernación es diferente, conocido como Low-Vol. Todas las estaciones operan los mismos días.



Figura 14. Muestreador Hi-Vol

Características principales

- Mayor flujo volumétrico (m³/min) de aire captado en comparación con el equipo Low-Vol.
- Opciones de control de flujo masico o control de flujo volumétrico.
- Entrada disponible para mediciones de partículas PM_{10} .
- Motor de alta velocidad para muestreo continuo.
- Operación en todo tipo de clima.
- Para la operación podrán usarse filtros en fibra de vidrio sin aglutinante o de alta pureza, cuarzo puro o

celulosa dependiendo del objetivo posterior del análisis del filtro.

Luego de estimar la concentración del PM_{10} se realiza el procesamiento de datos mediante el Software R y se obtienen gráficos estadísticos como el que se muestra en la Figura 15, el cual contiene la concentración promedio aritmético de las estaciones de PM_{10} entre enero y abril de 2018. La línea roja punteada indica el límite normativo anual establecido en la Resolución 2254 de 2017 del MADS.

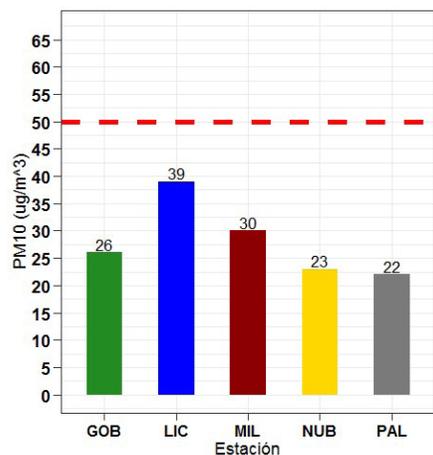


Figura 15. Concentración promedio de PM_{10} entre enero y abril de 2018 para todas las estaciones de la ciudad

Muestreador Low-Vol – Thermo Partisol 2025i

El método de este muestreador semiautomático (Figura 16) consiste en hacer pasar un volumen de aire ambiente, en este caso, 16.7 m³/min a través de un filtro de 47 mm durante un periodo determinado (24 horas). A diferencia del Muestreador Hi-Vol este analizador contiene un soporte para 10 filtros, lo cual le permite hacer el cambio de los mismos de manera automática cada 3 días. Los filtros son pesados antes y después del monitoreo para determinar el peso neto ganado (almacenado en desecador para retirar humedad del ambiente). Su concentración se expresa de la

manera explicada anteriormente. Este equipo está ubicado en la estación Gobernación, se cuenta con un equipo para PM_{10} y otro para $PM_{2.5}$.



Figura 16. Muestreador Low-Vol

Características principales

- Bajo captación de flujo de aire.
- Interfaz de usuario mejorada y capacidades de comunicación iSeries.
- Mejoras en la descarga de datos.
- Diseñado para un fácil mantenimiento.

- Plataforma de piezas modulares.
- Facilidad en el transporte, equipos más livianos.

Luego de estimar la concentración del PM_{10} y $PM_{2.5}$ se realiza el procesamiento de datos mediante el Software R y se obtienen gráficos estadísticos como el que se muestra en la Figura 17, el cual contiene la evolución temporal de las concentraciones de $PM_{2.5}$ diario entre enero y abril de 2018.

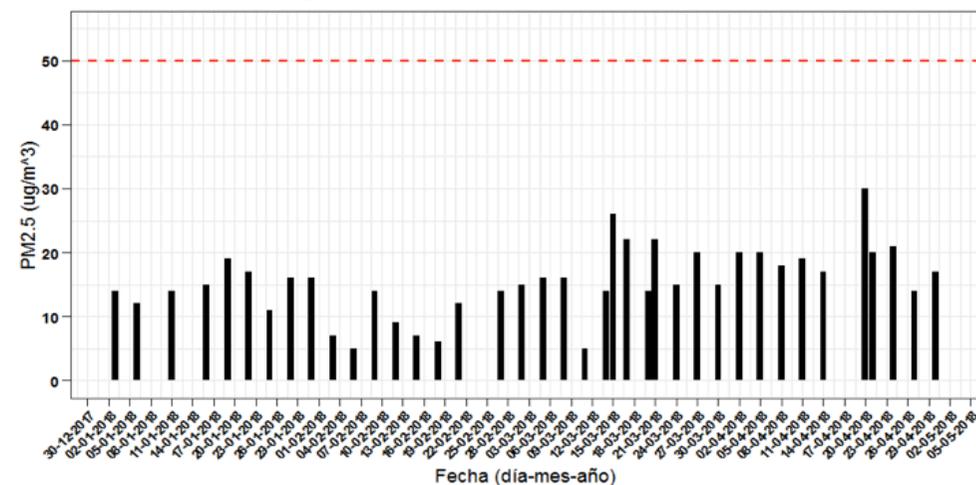


Figura 17. Evolución temporal $PM_{2.5}$ en la estación Gobernación entre enero y abril de 2018

Ozono, O_3

Analizador de O_3 Teledyne – Modelo T400

El analizador fotométrico de ozono mide concentraciones de ozono en aire ambiente usando un método basado en la ley de Beer-Lambert. La intensidad de una luz ultravioleta es medida después de pasar a través de una cámara llamada celda de muestreo, donde es absorbida en proporción a la cantidad de ozono presente. Cada tres segundos, una válvula de conmutación alterna la medición entre una corriente de gas que contiene ozono y una que ha sido

depurada de ozono. Este analizador, que se muestra en la Figura 18, también mide la temperatura ambiente y la presión del gas que está siendo medido. Usando los resultados de las mediciones mencionadas anteriormente el analizador calcula la concentración de ozono presente en el gas muestreado.



Figura 18. Analizador automático de Ozono Troposférico

Características principales

- Rangos: 0-500 ppb.
- El filtrado adaptativo de la señal optimiza el tiempo de respuesta.
- Compensación de temperatura y presión.
- Registro completo de datos internos con periodos promediados programables.

Los datos que son obtenidos cada cinco minutos se procesan y posteriormente se construyen gráficas como la que se muestra a continuación (Figura 19), la cual contiene la concentración de O₃ troposférico entre enero y abril de 2018 para el promedio octohorario, la línea punteada roja representa el límite máximo permisible establecido en la Res. 2254 de 2017.

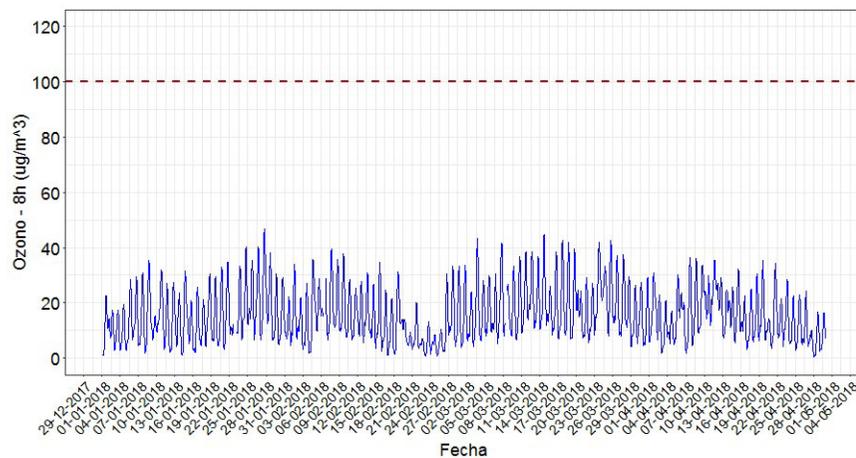


Figura 19. Variación de concentración de ozono troposférico en la estación gobernación entre enero y abril de 2018

Monóxido de Carbono, CO

Analizador de CO Thermo – Modelo 48i

El Monóxido de Carbono (CO) absorbe la radiación de una fuente infrarroja de intensidad conocida ($\lambda = 4.6$ micras). Debido a que la absorción de infrarrojo es una técnica de medición no lineal, es necesario que la electrónica del instrumento transforme la señal del analizador básico en una salida lineal. El equipo usa una curva de calibración exacta para linealizar con precisión la salida del instrumento en cualquier rango hasta una concentración de 10,000 ppm. El SVCA cuenta con un analizador de CO como el que se muestra en la Figura 20.

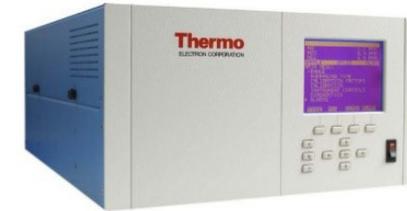


Figura 20. Analizador automático de Monóxido de Carbono

Características principales

- Tecnología de correlación de filtro de gas.
- Linealidad a través de todos los rangos.
- Mide concentraciones de hasta 10,000 ppm.
- Corrección de temperatura y presión.

Como en los equipos y procedimientos anteriores, también para el monóxido de carbono se realiza procesamiento de datos, lo cual permite obtener resultados como la Figura 21, que muestra la variación promedio horario diario y mensual para el CO entre abril y mayo de 2018.

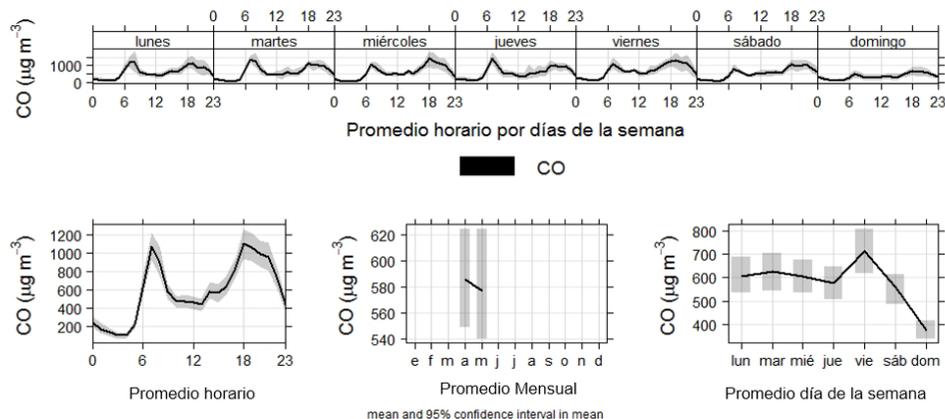


Figura 21. Variación promedio horario diario y mensual de monóxido de carbono (CO) en la estación Gobernación entre abril y mayo de 2018

Dióxido de Azufre, SO₂

Analizador de SO₂ Teledyne – Modelo T100

El analizador de SO₂ de fluorescencia UV determina la concentración de dióxido de azufre en un gas al exponerlo a luz ultravioleta en la cámara de muestreo del instrumento, lo cual favorece la fluorescencia del SO₂. Este equipo que se muestra en la Figura 22 mide la cantidad de fluorescencia requerida para determinar la concentración de SO₂ presente en el gas muestreado.



Figura 22. Analizador automático de Dióxido de Azufre

Características principales

- Rangos: 0-500 ppb.
- Compensación de temperatura y presión.
- Registro completo de datos internos con periodos promediados programables.

La memoria interna del analizador tiene una capacidad de adquisición de datos instalada que permite el registro de múltiples parámetros como valores de concentración promediados o instantáneos, datos de calibración y parámetros de operación como presión y flujo de muestreo.

En la Figura 23 se muestran los datos obtenidos durante julio de 2014 y septiembre de 2015

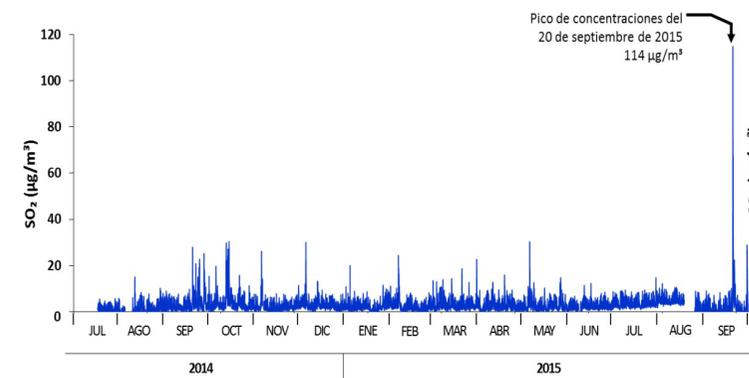


Figura 23. Concentraciones de SO₂ entre julio de 2014 y septiembre de 2015 en la estación Gobernación Fuente: Estudio del impacto de las emisiones antropogénicas y geogénicas de dióxido de azufre en la calidad del aire de Manizales, Tesis de Maestría, Andrea P. Cuesta, 2017

PROCESAMIENTO Y PUBLICACIÓN DE DATOS

El SVCA permite obtener información importante para la población y la autoridad ambiental. Esta información debe quedar disponible y la publicación de los datos podrá obtenerse de varias maneras para Manizales:

1. De la página web del Sistema de Información sobre Calidad de Aire (SISAIRE) del IDEAM (Figura 24) la cual es la base de datos oficiales para obtener la información sobre el diseño, evaluación y ajuste de las políticas y estrategias nacionales y regionales de prevención y control de la calidad del aire. El link de acceso es: <http://www.sisaire.gov.co:8080/faces/portal/default.jsp>

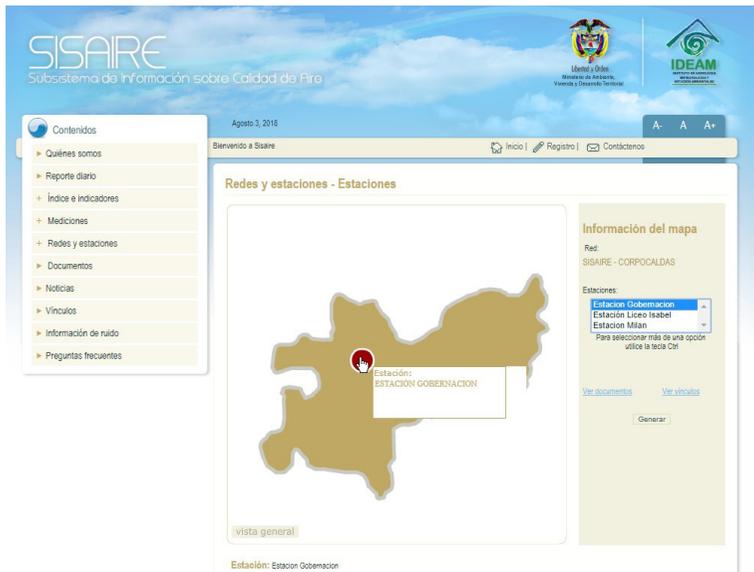


Figura 24. Página web SISAIRE para descarga de datos

2. Del boletín trimestral de calidad del aire, el cual podrá descargarse del link: cdiac.manizales.unal.edu.co/inicio/publicaciones.php (Figura 25)



Figura 25. Descarga de boletín de calidad del aire mediante plataforma CDIAC

3. De la página del CDIAC (cdiac.manizales.unal.edu.co/indicadores/public/index) como los siguientes Indicadores y Emisiones de Aire:

- Índice de calidad de aire – ICA.
- Porcentajes de excedencia de los límites normados – PELN.
- Emisiones atmosféricas de contaminantes por el sector industrial municipal – EMATMOS.
- Emisiones de gases efecto invernadero – GEI.



Figura 26. Indicadores y Emisiones de Aire disponibles para descarga desde la plataforma CDIAC

SISTEMA DE MONITOREO PASIVO

Adicional al monitoreo que se realiza en las cinco estaciones de la ciudad de manera continua, el Grupo de Trabajo Académico en Ingeniería Hidráulica y Ambiental ha desarrollado diferentes campañas utilizando otras técnicas de medición como es el uso de muestreadores pasivos.

Estos muestreadores no requieren el uso de energía eléctrica y son un método simple, de bajo costo y eficaz para realizar monitoreo de calidad de aire y evaluar tendencias de los contaminantes. La técnica de monitoreo pasiva utiliza la difusión natural del aire a través del medio adsorbente que se use en relación al

contaminante que se desea captar. Estos sistemas se dejan expuestos desde un mes a tres meses para retener una cantidad de contaminante cuantificable posteriormente por una técnica analítica adecuada para cada contaminante, por lo que representa una muestra integrada del periodo de tiempo al que fue expuesto. El sistema de monitoreo pasivo es complementario a las estaciones de monitoreo activo.

En la campaña realizada por el grupo de investigación, entre enero de 2015 y marzo de 2016, se instalaron muestreadores pasivos en doce puntos distribuidos entre las áreas urbana y rural de la ciudad teniendo en cuenta la velocidad del viento sobre la que se dispersa la pluma del volcán Nevado del Ruiz. En la Figura 27 se muestra una foto del montaje de los muestreadores pasivos para Dióxido de Azufre, Óxidos de Nitrógeno y Ozono, los cuales se instalaron en uno de los puntos de monitoreo.



Figura 27. Muestreador pasivo para NO_x, SO₂ y O₃
Fuente: Cuesta-Mosquera, González-Duque, Velasco-García, Aristizábal, 2018

El objetivo de esta campaña fue determinar los perfiles espaciales de los tres contaminantes mencionados anteriormente, para establecer una línea base de las concentraciones y analizar la posible influencia de las fuentes locales de emisión tanto naturales (volcán Nevado del Ruiz) como antrópicas. Las campañas de monitoreo realizadas tuvieron una duración de cuatro semanas cada una con una distribución de doce puntos; se obtuvieron los siguientes resultados:

- Las concentraciones promedio de SO₂ variaron de 4.1 a 9.8 µg/m³ en los diferentes puntos. Las concentraciones fueron significativamente superiores en el sector industrial y el área rural con influencia del volcán Nevado del Ruiz, en comparación con los sectores residencial y comercial. Esto puede observarse en la Figura 28, donde los valores más altos en la concentración se muestran en color rojo.

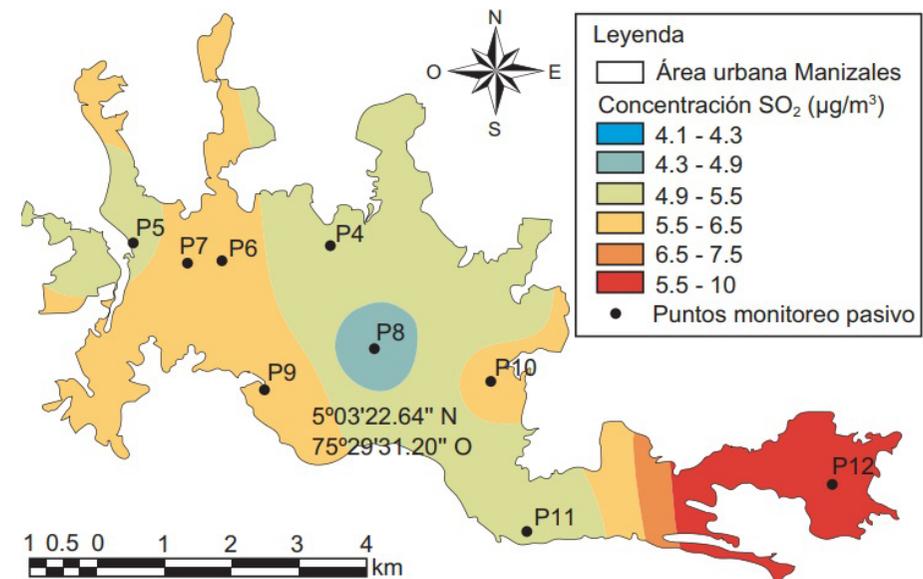


Figura 28. Distribución espacial de SO₂.
Fuente: Cuesta-Mosquera, González-Duque, Velasco-García, Aristizábal, 2018

- Las concentraciones promedio de NO_x variaron en un rango de 5.9 a 82.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con mayores concentraciones en los puntos con influencia de alto flujo vehicular. Las mayores concentraciones se midieron en sectores residenciales cercanos a concurridos corredores viales. Lo anterior puede observarse en la Figura 29, en la cual los colores amarillo, naranja y rojo muestran las concentraciones más altas de este contaminante.

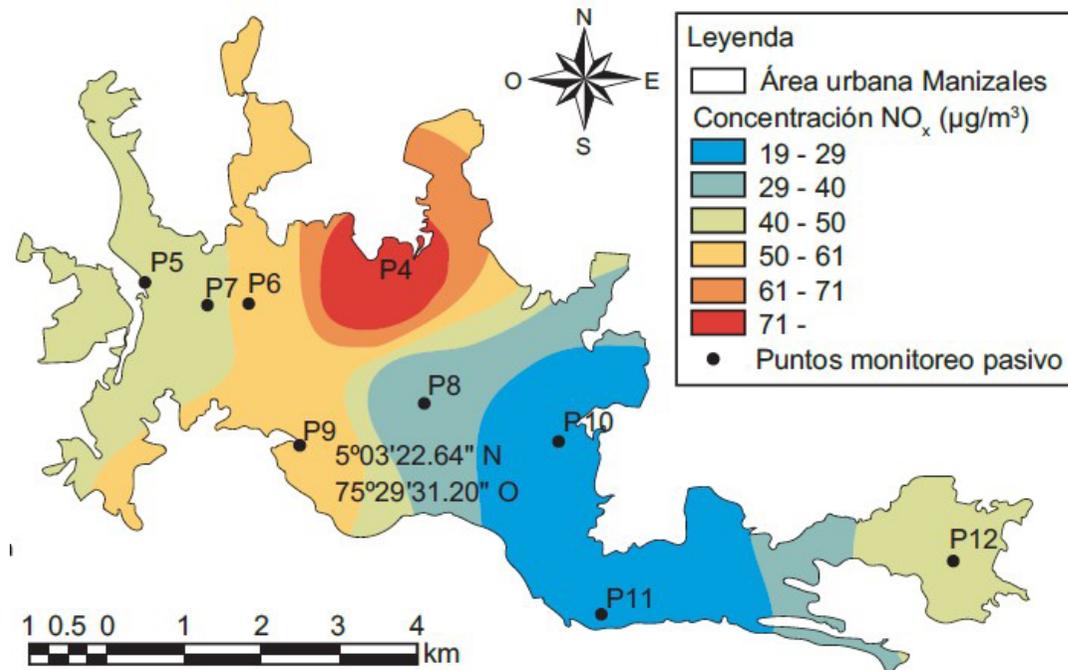


Figura 29. Distribución espacial de NO_x
Fuente: Cuesta-Mosquera, González-Duque, Velasco-García, Aristizábal, 2018

- Las concentraciones de O_3 variaron de 16.1 a 68.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Las concentraciones del área rural fueron significativamente superiores a las del área urbana como puede observarse en la Figura 30. Esto puede asociarse a la mayor disponibilidad de precursores como los compuestos orgánico volátiles que favorecen la fotoquímica para la formación de O_3 en esta zona.

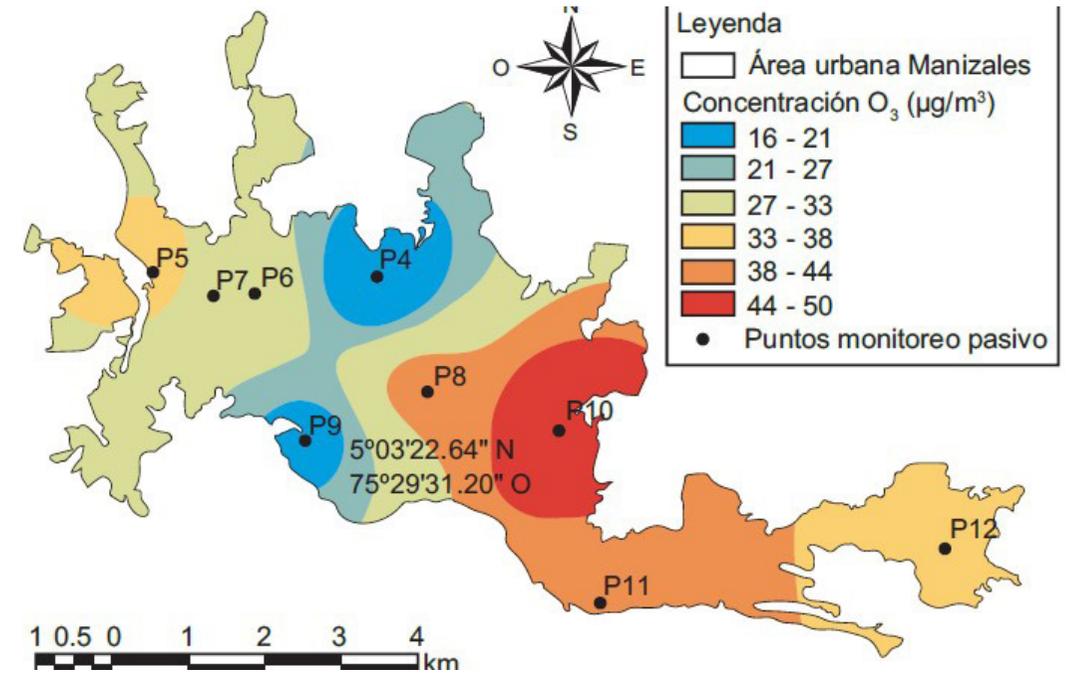


Figura 30. Distribución espacial de O_3
Fuente: Cuesta-Mosquera, González-Duque, Velasco-García, Aristizábal, 2018

INFORMACIÓN ADICIONAL

Desde el primero de agosto de 2018, Manizales y Caldas entraron a formar parte de la red de cooperación BREATHELIFE <http://breathelife2030.org/>, gracias a la gestión conjunta realizada por la Corporación Autónoma Regional de Caldas, la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, (U.N.), Manizales Cómo Vamos y la Corporación Cívica de Caldas. Esta red de cooperación internacional moviliza las ciudades y a las personas para proteger la salud y el Planeta, por medio de diferentes acciones y campañas, de los efectos de la contaminación atmosférica, destacando tanto acciones individuales de los ciudadanos como acciones institucionales públicas y privadas en pro de la construcción de un aire más limpio. Te invitamos a que te sumes a esta campaña visitando el sitio oficial para Caldas <http://breathelife2030.org/breathelifecity/caldas-colombia/>, tú también puedes tomar acciones para mejorar la calidad del aire.

Si deseas más información sobre la calidad de aire de la ciudad, el SVCA y las estaciones de monitoreo, te invitamos a revisar los siguientes enlaces:

- idea.manizales.unal.edu.co/gta/ingenieria_hidraulica
- Video Calidad del Aire
- cdiac.manizales.unal.edu.co/indicadores/public/index
- http://www.corpocaldas.gov.co/dynamic_page.aspx?p=543

BIBLIOGRAFÍA

Cuesta-Mosquera, A. P., González-Duque, C. M., Velasco-García, M., Aristizábal, B. H. (2018). Distribución Espacial de Concentraciones de SO_2 , NO_x y O_3 en el Aire Ambiente de Manizales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(3), 489–504. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.03.11>