



INFORME DE REDISEÑO DE LA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE DE BOGOTA

RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE DE BOGOTÁ - RMCAB

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE

OCTUBRE 2018



Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB

Oscar Alexander Ducuara Falla
Subdirector de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

Diana Alexandra Ramírez Cardona
Coordinadora Técnica RMCAB

Daissy Lizeth Zambrano Bohórquez
Eaking Ballesteros Urrutia
Jhonathan Ramírez Gamboa
Grupo de Validación y Análisis de la RMCAB

Darío Alejandro Gómez Flechas
Henry Ospino Dávila
Luz Dary González González
Luis Hernando Monsalve Guiza
Grupo de Operación de la RMCAB

Ana Milena Hernández Quinchara
Adriana Marcela Cortes Narváez
Angie Julieth Puertas Pulido
Grupo Administrativo RMCAB

Leonardo Quiñones Cantor
Fabián Ricardo Guevara Gómez
Yessica Natalia Ramírez Yara
Sistema de Alertas Tempranas Ambientales de Bogotá



Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB

ANEXOS

1. Ficha Técnica de las estaciones RMCAB
2. Adecuaciones Requeridas Estaciones de la RMCAB
3. Concepto técnico del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
4. Planeación Adquisición de Bienes y Servicios de la RMCAB

Contenido

1.	ANTECEDENTES	9
1.1	Objetivos de la RMCAB	9
1.1.1	Objetivo General.....	9
1.1.2	Objetivos Específicos de la RMCAB.....	9
1.2	Historia y evolución de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire (RMCAB).	10
1.3	Actualidad de la RMCAB 2018	15
2.	METODOLOGÍA.....	20
2.1	Actividades para realizar el re-diseño	20
3.	DIAGNÓSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA ESTACIONES DE LA RMCAB	21
3.1	Aspectos Generales.....	21
4.	ESTADO DE LOS SENSORES Y ANALIZADORES DISPONIBLES EN CADA ESTACIÓN DE LA RMCAB	24
4.1	Métodos de medición utilizados por los equipos analizadores de la RMCAB	24
4.2	Depreciación de los equipos analizadores de la RMCAB	25
4.3	Estándares de calibración-RMCAB	28
	• Calibrador primario de Ozono (O ₃).....	28
	• Gases de calibración.....	29
5.	ANÁLISIS DEL HISTÓRICO DE MEDICIÓN DE LA RMCAB	33
5.1	Carvajal-Sevillana.....	33
5.2	Kennedy	35
5.3	Tunal	37
5.4	Puente Aranda.....	38
5.5	San Cristóbal.....	40
5.6	MinAmbiente.....	41
5.7	CDAR	42
5.8	Ferías.....	44
5.9	Suba.....	45
5.10	Usaquén.....	47
5.11	Guaymaral.....	48
5.12	Fontibón.....	49

5.13	Estación Móvil	51
6.	COBERTURA ACTUAL DE LA RMCAB.....	53
6.1	Antecedentes	53
6.2	Método de estimación de la cobertura de la RMCAB	54
6.3	Inclusión de nuevos parámetros en las estaciones	58
6.4	Análisis de los parámetros meteorológicos.....	60
6.4.1	Presión Atmosférica	60
6.4.2	Humedad.....	62
6.4.3	Radiación Solar	64
7.	Recurso humano necesario para la operación de la RMCAB.....	66
8.	Recursos de equipos e insumos para la operación de la RMCAB.....	70
8.1	Costos de inversión inicial o modernización.....	70
8.2	Costos de Operación	76
8.3	Costos del recurso humano para la operación de la RMCAB	77
9.	Conclusiones.....	78



Lista de Tablas

Tabla 1 Estaciones de la RMCAB en el año 1997 y parámetros medidos en cada estación..	13
Tabla 2 Características de las estaciones de monitoreo y parámetros medidos	17
Tabla 3 Métodos de medición utilizados por los monitores de la RMCAB.....	24
Tabla 4. Sensores para el control de las condiciones ambientales de las estaciones de la RMCAB	27
Tabla 5 Composición de la mezcla de gases usado para la verificación de los analizadores de gases de la RMCAB	29
Tabla 6 Listado de cilindros disponibles en la RMCAB.....	29
Tabla 7 Listado de cilindros fuera de uso-RMCAB	30
Tabla 8. Medidores de flujo de la RMCAB.....	30
Tabla 9 Patrones de temperatura, presión y humedad	31
Tabla 10 Coeficientes de correlación de Pearson entre estaciones que miden Presión Atmosférica.....	62
Tabla 11. Coeficientes de correlación de Pearson entre estaciones que miden Radiación Solar	64
Tabla 12 Costos y especificaciones técnicas operación RMCAB	70
Tabla 13. Costos anuales de operación de la RMCAB	76

Lista de Figuras

Figura 1 Red PANAIRE - 1974.....	12
Figura 2 Red SICA - 1985	12
Figura 3 Red JICA-1991.....	12
Figura 4 RMCAB 1997.....	12
Figura 5 Ubicación de las estaciones de monitoreo de la RMCAB en la ciudad.	16
Figura 6 Distribución por años para los sensores meteorológicos adquiridos en la RMCAB	26
Figura 7. Distribución por años para los equipos analizadores de partículas y gases adquiridos en la RMCAB	26
Figura 8 Comportamiento histórico de los contaminantes PM ₁₀ , PM _{2.5} , CO, NO ₂ , O ₃ y SO ₂ durante el periodo de 2008 al primer semestre de 2018 en la estación Carvajal.	34
Figura 9 Comportamiento histórico de los contaminantes PM ₁₀ , PM _{2.5} , CO, NO ₂ , O ₃ y SO ₂ durante el periodo de 2008 al primer semestre de 2018 en la estación Kennedy.....	36
Figura 10 Comportamiento histórico de los contaminantes PM ₁₀ , PM _{2.5} , CO, NO ₂ , O ₃ y SO ₂ durante el periodo de 2008 al primer semestre de 2018 en la estación Tunal.....	38
Figura 11 Comportamiento histórico de los contaminantes PM ₁₀ , PM _{2.5} , CO, NO ₂ , O ₃ y SO ₂ durante el periodo de 2008 al primer semestre de 2018 en la estación Puente Aranda.	39
Figura 12 Comportamiento histórico de los contaminantes PM ₁₀ , PM _{2.5} , O ₃ y SO ₂ durante el periodo de 2008 al primer semestre de 2018 en la estación San Cristóbal.....	41
Figura 13 Comportamiento histórico de los contaminantes PM ₁₀ , PM _{2.5} , CO y O ₃ durante el periodo de 2008 al primer semestre de 2018 en la estación Min Ambiente.	42
Figura 14 Comportamiento histórico de los contaminantes PM ₁₀ , PM _{2.5} , CO, NO ₂ , O ₃ y SO ₂ durante el periodo de 2008 al primer semestre de 2018 en la estación CDAR.....	43
Figura 15 Comportamiento histórico de los contaminantes PM ₁₀ , PM _{2.5} , CO, NO ₂ , O ₃ y SO ₂ durante el periodo de 2008 al primer semestre de 2018 en la estación Ferias.	45
Figura 16 Comportamiento histórico de los contaminantes PM ₁₀ , PM _{2.5} , O ₃ y SO ₂ durante el periodo de 2008 al primer semestre de 2018 en la estación Suba.	46
Figura 17 Comportamiento histórico de los contaminantes PM ₁₀ , PM _{2.5} , O ₃ y CO durante el periodo de 2008 al primer semestre de 2018 en la estación Usaquéen.....	47
Figura 18 Comportamiento histórico de los contaminantes PM ₁₀ , PM _{2.5} , O ₃ y NO ₂ durante el periodo de 2008 al primer semestre de 2018 en la estación Guaymaral.	49
Figura 19 Comportamiento histórico de los contaminantes PM ₁₀ , PM _{2.5} , CO, O ₃ y SO ₂ durante el periodo de 2008 al 2014 en la estación Fontibón	50
Figura 20 Comportamiento histórico de los contaminantes PM ₁₀ , PM _{2.5} , CO, NO ₂ , O ₃ , y SO ₂ durante el periodo de 2008 al primer semestre de 2018 en la estación Móvil	52
Figura 19. Polar plot por estación con base en concentraciones de PM ₁₀ . Años 2010 - 2017	55
Figura 20. Mapa de cobertura de las estaciones de la RMCAB.....	57



Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB

Figura 21 Mapa distribución espacial promedio anual de la presión atmosférica 2015 - 2017	61
Figura 22 Mapa distribución espacial promedio anual de la humedad 2015 – 2017.....	63
Figura 23. Mapa distribución espacial promedio anual de la Radiación Solar 2015 - 2017 ..	65



Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB

INTRODUCCIÓN

El presente documento se elabora con el objetivo de validar el actual diseño que tiene la Red De Monitoreo De Calidad Del Aire De Bogotá, dado que este es un Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA) que opera desde 1997 ya que no se cuenta con un diagnóstico que permita evidenciar el estado actual de la red y si el diseño está acorde con los cambios que ha tenido la ciudad en cuanto a su desarrollo y crecimiento.

En consideración a lo anterior, se realizó un diagnóstico e inspección de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB), teniendo en cuenta criterios técnicos como: microlocalización de las estaciones (obstáculos cercanos, alturas, cercanía a fuentes de emisión, entre otros), estado de la infraestructura de la RMCAB, justificación técnica y económica para instalar nuevas estaciones y equipos, inclusión del monitoreo de nuevos contaminantes y análisis de datos históricos.

En este orden de ideas, se elaboró un consolidado de los aspectos más importantes sobre el monitoreo de calidad del aire en Bogotá y el diseño actual de la RMCAB, con el fin de plantear propuestas para el re-diseño, enfocada a que la RMCAB responda a un SVCA más ajustado a las condiciones actuales de la ciudad y más moderno, y de esta forma continuar con la entrega de información veraz y confiable para determinar el estado de calidad el aire en Bogotá, verificar el cumplimiento frente a la normatividad vigente y que sea una herramienta útil para la formulación de estrategias de descontaminación.

Al final se presentan las conclusiones de la evaluación donde se describe el cumplimiento de las condiciones de la RMCAB en la actualidad y las acciones para optimizar su diseño.



Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB

1. ANTECEDENTES

1.1 Objetivos de la RMCAB

1.1.1 Objetivo General

La Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) tiene como principal objetivo obtener información confiable sobre la concentración de los contaminantes de origen antropogénico y natural, y del comportamiento de las variables meteorológicas que regulan el transporte de estos en la atmósfera de Bogotá.

1.1.2 Objetivos Específicos de la RMCAB

- Conocer los niveles de contaminación atmosférica en las diferentes zonas de la ciudad.
- Dar cumplimiento a lo estipulado en el Acuerdo 367 de 2009, donde la RMCAB pone a disposición del público los datos generados en las estaciones de monitoreo de calidad del aire.
- Evaluar el cumplimiento de los estándares de calidad del aire dados por la **Resolución 2254 de 2017 de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible**.
- Proveer información para evaluar la efectividad de las medidas implementadas



Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB

1.2 Historia y evolución de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire (RMCAB).

El monitoreo de calidad del aire en la ciudad de Bogotá inició a mediados de la década de los sesenta con la participación en el proyecto regional PANAIRE realizado entre 1967 a 1974, promovido por la Organización Panamericana de la Salud – OPS para realizar un seguimiento a los contaminantes en diferentes ciudades de Latinoamérica, y por el cual se instaló una red manual de cinco estaciones para la medición de material particulado, dióxido de azufre y otros contaminantes. La ubicación de las estaciones de este proyecto se presenta en la Figura 1.

En los años ochenta, la Secretaría de Salud de Bogotá, realizó la ejecución de programas tendientes a establecer la relación entre los niveles de contaminación del aire y los casos de enfermedades respiratorias detectadas por el sistema de atención de salud de la población en Bogotá. Para ello, se planteó el desarrollo del “Sistema de Información sobre la Calidad del Aire – SICA”, con el fin de almacenar y reportar datos de concentraciones de Partículas en Suspensión, Anhídrido Sulfuroso y Dióxido de Nitrógeno entre otros contaminantes. Este diseño contaba con trece estaciones de monitoreo en toda la extensión de la zona urbana de esa época, como se aprecia en la Figura 2.

En 1990 la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (Japan International Cooperation Agency - JICA) llevó a cabo un estudio que incluyó el diagnóstico del estado de la calidad del aire, la meteorología, las fuentes contaminantes presentes en la ciudad, las condiciones socioeconómicas de la época y la ejecución de un modelo gaussiano, con el fin de establecer guías para el desarrollo de políticas de control de la contaminación del aire urbano, e incluyendo la transferencia de tecnología de monitoreo de contaminantes. El diseño de la red de monitoreo en este estudio constó de cinco estaciones, las cuales realizaban mediciones horarias de Dióxido de Azufre, Óxidos de Nitrógeno, Partículas Suspendidas Totales, Monóxido de Carbono, Hidrocarburos no Metálicos, Metano e Hidrocarburos Totales. Se midió paralelamente la distribución de tamaño del Material Particulado y el contenido de metales en el mismo. Las estaciones se localizaron como lo muestra la Figura 3.

Todos estos trabajos previos sentaron las bases para que, a mediados de la década de los noventa, el Departamento Técnico Administrativo de Medio Ambiente – DAMA, pudiera diseñar, instalar y operar la actual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá. El diseño original de la RMCAB se basó en el estudio denominado “Sistema de información para el mejoramiento de la calidad del aire en Santa Fe de Bogotá” elaborado por expertos de la Empresa Colombiana de Petróleos – ECOPEPETROL en 1995, el cual se basó en el trabajo realizado por JICA, e incluía recomendaciones sobre la modernización de la red de monitoreo y el complemento con un modelo de calidad del aire “Para predecir el comportamiento



Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB

futuro de la calidad del aire, simular escenarios futuros introduciendo los posibles cambios en el desarrollo de la ciudad y realizar estudios de costo-beneficio”. Además se plantearon los objetivos de la red de monitoreo, tales como la obtención de datos para su comparación con la normatividad vigente y para la elaboración de estudios dosis-respuesta, medición de tendencias de contaminación y como aporte a la planificación urbana; y se propuso que el diseño de la red estaría conformado por cinco estaciones fijas y dos móviles, para monitorear Partículas Suspendidas Totales, Material Particulado menor a diez micras, Ozono, Óxidos de Nitrógeno y Monóxido de Carbono.

En este mismo año el DAMA realizó un contrato con una firma privada para la realización de un estudio de prefactibilidad de la implementación del Sistema de información para el Mejoramiento de la Calidad del Aire, y con base en este, realizó un concurso público de méritos en 1996 para “Contratar el diseño, suministro de equipos, montaje, puesta en marcha, operación y mantenimiento por un año de la red para el sistema de información sobre la calidad del aire de Santafé de Bogotá”. Este concurso fue adjudicado a la firma ELIOVAC, que, junto con el DAMA, elaboró el diseño de la primera RMCAB, la cual tenía el objetivo de establecer la línea base de los niveles de contaminación para la ejecución de planes y programas.

El diseño fue avalado por un consultor internacional, quien determinó que “la red propuesta combina de una manera conveniente el uso de una escala de barrio que provee información para el modelaje de la dispersión de contaminantes, y una escala media, adecuada para la determinación de efectos en la salud pública y para la evaluación de la efectividad de las normas sobre calidad del aire” a través del monitoreo de tendencias de la contaminación del aire en la ciudad. De este modo, en agosto de 1997 la RMCAB entró en operación con doce estaciones; la ubicación inicial de estas estaciones se muestra en la Figura 4.

Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB

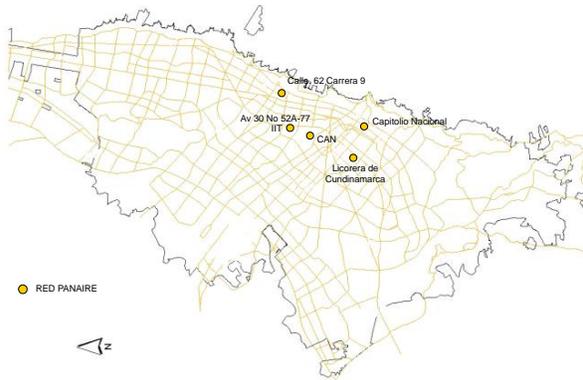


Figura 1 Red PANAIRE - 1974

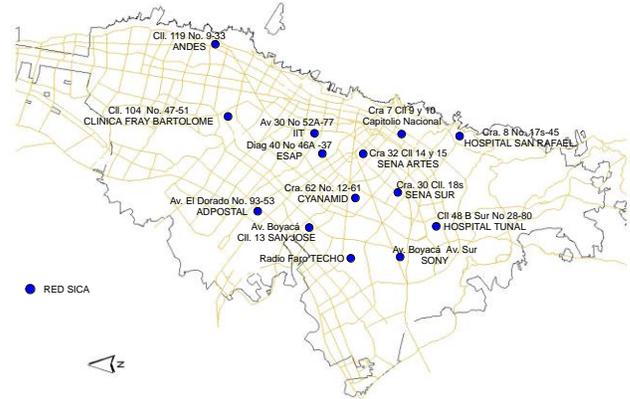


Figura 2 Red SICA - 1985

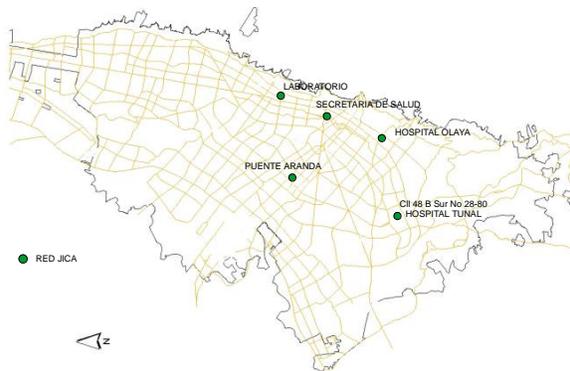


Figura 3 Red JICA-1991

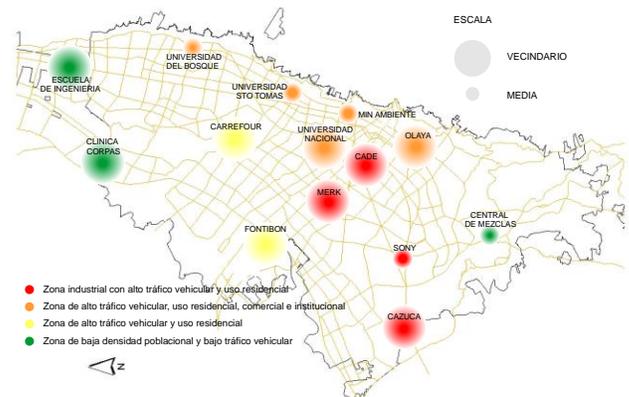


Figura 4 RMCAB 1997

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. Anexo 1. Revisión y Validación del Diseño de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Bogotá. Auditoría a la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá. 2002.

En la Tabla 1 se muestra la configuración y los sensores tanto de gases como de parámetros meteorológicos que poseía cada una de las doce estaciones de la red, de acuerdo con la tecnología de monitoreo con la cual se inició la red en el año 1997.

Tabla 1 Estaciones de la RMCAB en el año 1997 y parámetros medidos en cada estación.

PARÁMETRO	Universidad el Bosque	RCN DOAS	SONY MUSIC	Hospital Olaya	Universidad Nacional - IDEA	Engativá	Cazucá	Escuela de Ingeniería	Central de Mezclas	Universidad Santo Tomás	Universidad Juan N. Corpas	CADE- Empresa de Energía
Ubicación	Transversal 9 Bis No. 133 - 95	Calle 37 No. 13A - 39	Autopista Sur No. 61 - 40	Carrera 10 No. 01 - 59	Carrera 44 No. 45 - 67 Edificio Camilo Torres	Calle 64 No. 128 - 10	Calle 14 No. 06 - 54 - Intecplast LTDA	Autopista Norte Km. 14	Autopista al Llano con Calle 71 Sur	Carrera 9 No. 72 - 90	Avenida Corpas Km. 3	Calle 13 No. 37 - 35
Analizador de partículas	X	X	X	X		X	X			X	X	X
Ozono		X	X	X	X		X					
SO ₂	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X
NO _x	X		X		X	X	X			X	X	X
NO ₂	X		X	X	X	X	X			X	X	X
NO	X		X		X	X	X			X	X	X
CO		X	X	X			X				X	
CH ₄		X	X									
NMHC		X	X									
VelViento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
DirViento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Temperatura						X		X	X		X	
Precipitación	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Humedad Rel.								X	X			
Rad. Solar								X	X			
Presión Baro.								X	X			

Fuente: ELIOVAC S.A. Informe Final operación y mantenimiento Sistema de Calidad del Aire de Santa Fe de Bogotá. Contrato 043 de 1996. 1998

Dos años después del inicio de la operación de la RMCAB, en septiembre de 1999, se amplió la cobertura con dos estaciones más, para un total de catorce. Las nuevas estaciones se ubicaron en zonas industriales de alta contaminación en el centro occidente y noroccidente de la ciudad, en las localidades de Fontibón y Puente Aranda. En estas estaciones se monitorearon inicialmente los parámetros Material Particulado menor a diez micras, Dióxido de Azufre, Óxidos de Nitrógeno, Ozono y Monóxido de Carbono, Velocidad y Dirección del Viento, Temperatura Superficial y Precipitación. En diciembre de 1999 se suspendió la estación Engativá y en febrero de 2000 se trasladó a la Avenida Calle 80 No. 69Q – 50 donde permanece hasta hoy, conocida como la estación Las Ferias.

En junio de 2001 se complementaron las estaciones meteorológicas Central de Mezclas y Escuela de Ingeniería, con monitores de Material Particulado menor a diez micras, Óxidos de Nitrógeno e Hidrocarburos no metánicos y metano. En las estaciones Sony, CADE, Cazucá y Bosque se instalaron monitores de PST por primera vez en la RMCAB. En septiembre de 2001 se suspendió definitivamente la estación Olaya, por dificultades para el acceso del grupo de operación al sitio de monitoreo y no fue reemplazada.

En marzo de 2002 la estación ubicada en Universidad Nacional se desmontó por remodelación del edificio donde se encontraba, y se instaló nuevamente en enero de 2003 en los predios del Instituto Distrital de Recreación y Deporte IDR D, donde se encuentra hasta la fecha (nombrada Centro de Alto Rendimiento).



Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB

Durante el 2002 la RMCAB fue sometida a una auditoría externa realizada por expertos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), junto con expertos de Chile y México, el diseño de la RMCAB fue evaluado y se recomendó reubicar la estación Central de Mezclas en un sitio de mejor representatividad de la exposición de la población (como la zona aledaña al parque el Tunal), mejorar las condiciones de exposición de la estación Sony para que tenga una escala de monitoreo vecindario, ubicar estaciones nuevas, fijas o móviles, que representen el impacto de los contaminantes sobre la población de las localidades de mayor densidad poblacional como Tunjuelito y Rafael Uribe, San Cristóbal, y algunas zonas de Engativá y ubicar una estación de monitoreo meteorológico en la zona de Usme y San Cristóbal, entre otras recomendaciones.

Esas recomendaciones han sido acogidas en gran parte, con acciones como la desinstalación en septiembre de 2002 de la estación Central de Mezclas debido a que la base de la estación se encontraba susceptible a derrumbarse por los volúmenes de precipitación en la zona durante la temporada de invierno de dicho año, ya que estaba ubicada muy cerca de las cárcavas dejadas por las canteras de la zona.

En octubre de 2005 se instaló una nueva estación en la zona del parque el Tunal, la cual se encuentra operando en la actualidad. Otro suceso notable ocurrió en noviembre de 2004 cuando se retiró la estación CADE - Energía, por la demolición del edificio donde estaba instalada.

Acogiendo nuevamente recomendaciones de la referida auditoría, se instaló en octubre de 2005 una nueva estación en la localidad de Kennedy, en el parque distrital Cayetano Cañizares, zona de alta densidad poblacional, la cual permanece en la actualidad. Se instalaron además en esa fecha estaciones meteorológicas en Usme y Vitelma en la zona sur oriental de la Ciudad y se complementaron los equipos de la estación Centro de Alto Rendimiento con una estación radiométrica completa para medir la radiación solar global, directa, difusa y ultravioleta.

En diciembre de 2007 se adquirió una unidad móvil de monitoreo ambiental con recursos suministrados por el Banco Mundial, y en el año 2008 se realizó la modernización del software, de los equipos datalogger para el almacenamiento de datos y la adquisición de nuevos equipos analizadores de gases y material particulado para todas las estaciones.

En el año 2011 se instaló la estación Bolivia con el fin de tener datos meteorológicos del noroccidente de Bogotá. En este mismo año se trasladó la estación Suba dentro de las instalaciones de la clínica Juan N. Corpas, con el fin de mejorar las condiciones de medición de la estación. En el año 2013 se adquirieron monitores de PM₁₀ y PM_{2.5}, para las estaciones de Suba, Guaymaral y Ministerio de Ambiente.



Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB

Se adquiere un monitor de partículas $PM_{2.5}$ para la estación Carvajal-Sevillana en el año 2014, y en Julio de este año se desmantela la estación Fontibón, dado que la empresa en la que se ubicaba (Hilanderías Fontibón) fue cerrada por cese de actividades. Finalmente, en el año 2016 se completa la cobertura de medición de $PM_{2.5}$ con la instalación del monitor en la estación Puente Aranda.

1.3 Actualidad de la RMCAB 2018

Para el 2018 la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá-RMCAB cuenta con trece (13) estaciones de monitoreo automáticas (11 fijas, 1 meteorológica y 1 móvil), las cuales permiten la identificación de concentraciones de los contaminantes criterio material particulado (PM_{10} , $PM_{2.5}$), gases (O_3 , NO_x , SO_2 , CO), y parámetros meteorológicos (precipitación, temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, radiación solar, velocidad y dirección del viento). El monitoreo continuo de las variables mencionadas anteriormente, permiten comunicar a la ciudadanía la concentración de contaminantes y la calidad del aire a la que están expuestos. Para esto la SDA ha dispuesto herramientas vía web que permiten a los usuarios consultar en tiempo real y descargar los históricos de los parámetros medidos por la RMCAB a través del enlace IP <http://201.245.192.252:81/>; este enlace contiene el mapa de las estaciones de monitoreo activas con los datos en tiempo real, así mismo contienen los formularios que permiten la descarga de históricos y adicionalmente enlaces de las publicaciones mensuales y anuales que la RMCAB realiza para analizar la concentración de contaminantes y divulgar a la comunidad dichos resultados.

De otra parte como un esfuerzo de la SDA para integrar toda la información disponible en torno a calidad del aire, se ha creado el portal de calidad del aire <http://www.ambientebogota.gov.co/calidad-del-aire> que contiene además del enlace citado en el párrafo anterior: i) información en tiempo real para la ciudadanía, del estado de la calidad del aire empleando el Índice Bogotano de Calidad del Aire -IBOCA-, esta información se encuentra expresada en mapas que permiten establecer la calidad del aire en cada una de las Unidad de Planeamiento Zonal (UPZ) del casco urbano de la ciudad de Bogotá. Estos mapas son creados a partir de los datos de monitoreo de la RMCAB empleando para ello métodos estadísticos de interpolación espacial; ii) Información de pronóstico de calidad del aire, a través de la cual, los ciudadanos pueden ver a qué condiciones de calidad del aire estarán expuestos al día siguiente, lo que permite tomar medidas voluntarias de movilidad y salud, que se encuentran expresadas en el enlace específico.

En la Figura 5 se observa la distribución espacial de las estaciones de monitoreo y en la Tabla 2 se encuentran las características de las estaciones y los parámetros que se miden en cada una de ellas.

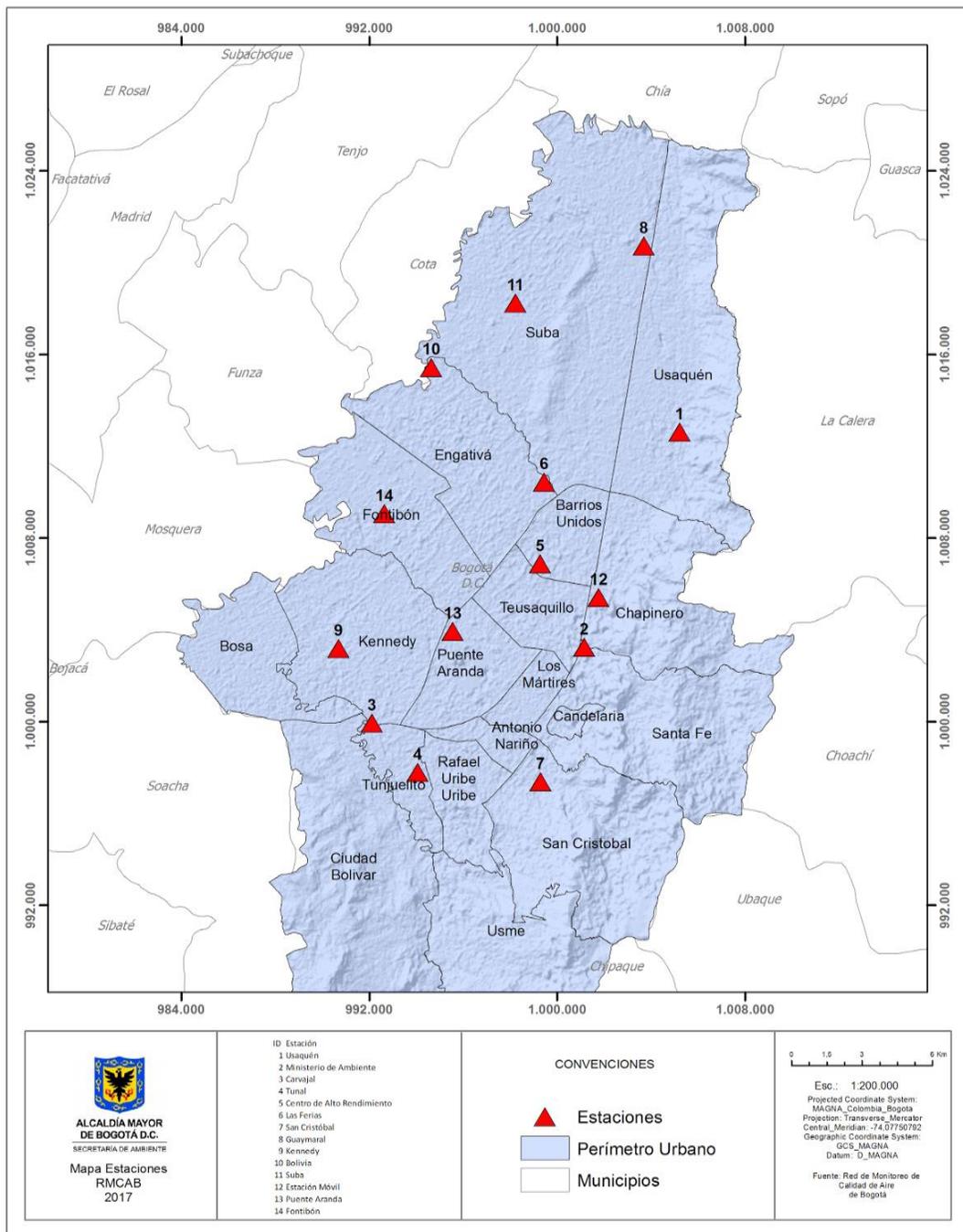


Figura 5 Ubicación de las estaciones de monitoreo de la RMCAB en la ciudad.

Fuente: elaboración propia

Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB

Tabla 2 Características de las estaciones de monitoreo y parámetros medidos

Característica	Guaymaral (Escuela de Ingeniería)	Usaquén (Bosque)	Suba (Corpas)	Bolivia	Las Férias (Carrefour Calle 80)	C. de Alto Rendimiento (Parque Simón Bolívar IDRD)	Min. Ambiente (Sagrado Corazón)	Puente Aranda	Kennedy	Carvajal- Sevillana	Tunal	San Cristóbal
Código	110308	010301	110311	100210	100306	120305	170302	160313	80309	60303	30304	40307
Latitud	4°47'1.52"N	4°42'37.26"N	4°45'40.49"N	4°44'9.12"N	4°41'26.52"N	4°39'30.48"N	4°37'31.75"N	4°37'54.36"N	4°37'30.18"N	4°35'44.22"N	4°34'34.41"N	4°34'21.19"N
Longitud	74°2'39.06"W	74°1'49.50"W	74° 5'36.46"W	74°7'33.18"W	74°4'56.94"W	74°5'2.28"W	74°4'1.13"W	74°7'2.94"W	74°9'40.80"W	74°8'54.90"W	74°7'51.44"W	74°5'1.73"W
Altitud	2580 m	2570 m	2571 m	2574 m	2552 m	2577 m	2621 m	2590 m	2580 m	2563 m	2589 m	2688 m
Altura del suelo	0 m	10 m	6 m	0 m	0 m	0 m	15 m	10 m	3 m	3 m	0 m	0 m
Localidad	Suba	Usaquén	Suba	Engativá	Engativá	Barrios Unidos	Santa Fe	Puente Aranda	Kennedy	Kennedy	Tunjuelito	San Cristóbal
Dirección	Autopista Norte # 205-59	Carrera 7B Bis # 132-11	Carrera 111 # 159A-61	Avenida Calle 80 # 121-98	Avenida Calle 80 # 69Q-50	Calle 63 # 59A-06	Calle 37 # 8-40	Calle 10 # 65-28	Carrera 80 # 40-55 sur	Autopista Sur # 63-40	Carrera 24 # 49-86 sur	Carrera 2 Este # 12-78 sur
Tipo de zona	Suburbana	Urbana	Suburbana	Suburbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana
Tipo de estación	De fondo	Tráfico	De fondo	De fondo	De tráfico	De fondo	De tráfico	Industrial	De fondo	Tráfico Industrial	Trafico	De fondo
Localización toma muestra	Zona Verde	Azotea	Azotea	Zona Verde	Zona Verde	Zona Verde	Azotea	Azotea	Zona Verde	Azotea	Zona Verde	Zona Verde
Altura punto de muestra	4.8 m	16.45m	11.4 m	4.6 m	4.02m	4.05m	24.67 m	18.7 m	7.71 m	4.2 m	3.62	4.88 m
Altura del sensor de viento	10 m	19 m	10 m	10 m	10 m	10 m	19 m	20 m	10 m	13 m	10 m	10 m
Contaminantes	PM ₁₀	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	PM _{2.5}	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	O ₃	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	NO ₂	X				X	X	X	X	X	X	
	CO		X			X	X		X	X	X	
	SO ₂			X		X	X		X	X	X	

Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB

Característica	Guaymaral (Escuela de Ingeniería)	Usaquén (Bosque)	Suba (Corpas)	Bolivia	Las Férias (Carrefour Calle 80)	C. de Alto Rendimiento (Parque Simón Bolívar / IDRD)	Min. Ambiente (Sagrado Corazón)	Puente Aranda	Kennedy	Carvajal- Sevillana	Tunal	San Cristóbal
Var. Meteorológicas	V. Viento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	D. Viento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Temperatura	X	X	X		X		X	X	X	X	X
	Precipitación	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	R. Solar	X				X			X		X	X
	H. Relativa	X				X			X		X	X
	Presión Atm.	X				X			X			



Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB

Para este mismo año se concluyeron todas las gestiones administrativas y técnicas correspondientes para la puesta en funcionamiento de la estación fija de calidad de aire en la localidad de Fontibón, la cual estará ubicada en Centro de Atención Médico Integral - CAMI I del Hospital de Fontibón ubicado en la carrera 104 No. 20C – 31.

De igual forma en el 2018 se realizó la modernización y actualización de la RMCAB en cuanto a:

- La actualización de los software ENVISTA ARM, ENVISTA WEB, ENVIDAS y Datalogger
- Modernización de equipos analizadores de Material Particulado, Gases, Calibradores y sensores meteorológicos.
- La adquisición e instalación de cinco equipos Aethalometros para el monitoreo automático de Black Carbon Y Brown Carbon, esto se realizó en conjunto con el grupo de Sistema de Alertas Tempranas de Bogotá –SATAB.

Adicionalmente, la RMCAB desde el año 2014 ha implementado y mantenido un sistema de gestión basado en la norma NTC-ISO/IEC 17025, como mecanismo de mejora continua que evidencia a usuarios y partes interesadas la competencia técnica y la calidad de los datos e información generada. En consecuencia, durante el año 2017 y 2018 se ha trabajado en lograr el reconocimiento por parte del ente acreditador (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM), para la acreditación de las variables de medición de los contaminantes PM₁₀, PM_{2.5}, O₃, NO_x, SO₂ y CO.

2. METODOLOGÍA

Para la propuesta de re-diseño de la RMCAB se partirá del análisis de línea base correspondiente a la información disponible (calidad del aire y meteorología) y de la inspección de las estaciones de monitoreo.

Con esa información se llevó a cabo el diagnóstico de las estaciones y la caracterización del comportamiento de los contaminantes para finalmente proponer la infraestructura y diseño del SVCA para Bogotá.

2.1 Actividades para realizar el re-diseño

- ✓ Establecer técnicamente la ubicación de cada una de las estaciones teniendo en cuenta condiciones de seguridad de los equipos, exposición de los toma muestras (Criterios de micro y macro-localización de los toma muestras) con el fin de obtener mediciones representativas y significativas y condiciones de logística, como electricidad y fácil acceso a los operadores, equipos, repuestos
- ✓ Analizar los datos
- ✓ Fijar cobertura de las estaciones
- ✓ Estipular las actividades necesarias para el manejo del SVCA, correspondientes al aseguramiento y control de calidad de la misma.
- ✓ Determinar los costos necesarios para la modernización, operación y mantenimiento de la RMCAB.

3. DIAGNÓSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA ESTACIONES DE LA RMCAB

Para la realización del diagnóstico de la infraestructura de la RMCAB se tomó como referencia el *Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire del entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010)* el cual define las condiciones de operación para una estación automática de parámetros múltiples.

En este orden de ideas se examinaron aspectos tales como: acceso a las estaciones, seguridad, disponibilidad de electricidad, estado del shelter, disponibilidad de línea telefónica, exposición de los toma muestra, estado de los analizadores, funcionamiento del aire acondicionado, protección eléctrica, sistema de adquisición de datos (Datalogger), calibrador dinámico de gases, generador de ozono, generador de aire cero, sistema de protección eléctrica (UPS) y gases de calibración entre otros.

Teniendo en cuenta lo anterior a continuación se presenta un diagnóstico de las estaciones de la RMCAB.

3.1 Aspectos Generales

Para los aspectos generales se tomó específicamente lo establecido en el capítulo 6.4 “Criterios de Micro localización de los sitios de vigilancia” donde se pudo determinar que la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB cumple con los aspectos relacionados a continuación:

- ✓ Las estaciones de monitoreo de calidad del aire disponen de condiciones de seguridad, están protegidas, se controla el acceso del personal y cuentan con iluminación, entre otros aspectos que permiten brindarles seguridad a los equipos, operadores y al público en general.
- ✓ Los lugares donde se encuentran las estaciones cuentan con condiciones de logística que facilitan el acceso permanente para que los operadores realicen las actividades de cambio de consumibles y de mantenimiento de los equipos. Adicionalmente, las estaciones tienen línea telefónica para el envío de datos, así como puntos de electricidad regulada y disponibilidad de carga para todos los equipos instalados.
- ✓ Las obras de las estaciones han tenido en cuenta consideraciones visuales y arquitectónicas para armonizar con el entorno desde el punto de vista urbanístico para evitar la generación de un impacto visual indeseado.

En cuanto al estado de los shelter donde se resguardan los equipos analizadores, se evidenció que se les deben realizar algunas adecuaciones. El detalle de las mismas se encuentra en el *Anexo 2. Adecuaciones Requeridas Estaciones de la RMCAB*, donde además



Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB

de las adecuaciones se determinó las cantidades de obra requeridas para que sirvan como insumo al proceso que se deberá adelantar para la contratación de las mismas.

Igualmente se identificaron necesidades de adecuaciones en relación con la instalación de elementos que puedan prevenir el riesgo asociado a caídas (barandas, escaleras, accesos etc.). Esto se realizó bajo el siguiente marco normativo ***“Resolución 1409/2012 Reglamento de Seguridad para Protección Contra Caídas en Trabajo en Alturas”***, en el cual se describen los elementos de prevención y protección para la mitigación de accidentes.

En cuanto a los toma muestras y sensores, se pudo evidenciar que estos se encuentran separados de fuentes locales de contaminación, como parqueaderos, vías sin pavimentar, calderas o de sumideros evitando estancamientos locales. También, los toma muestras y los caminos de medición están ubicados de tal manera que no se alteran las concentraciones de contaminantes en la muestra asegurando mediciones representativas.

- ✓ Los toma muestras están localizados lejos de las salidas de sistemas de aire acondicionado o ventilaciones de los edificios.
- ✓ Se evitan zonas de parqueo, depósitos de químicos o de combustibles, así como sitios muy cercanos a acumulaciones o almacenamiento de residuos sólidos o líquidos.
- ✓ Las estaciones que tienen equipos de medición de PM₁₀ están alejados de carreteras sin pavimento, campos deportivos o cualquier fuente emisora de material particulado que pueda alterar la medición.

Adicionalmente, la ubicación de las estaciones tiene en consideración:

- ✓ Distancia a fuentes menores: El toma muestras se encuentra alejado de fuentes menores locales, evitando que la pluma de estas fuentes interfiera y altere los datos de calidad del aire colectados en el sitio. Adicionalmente, las estaciones para la medición de material particulado se encuentran en área pavimentadas. De modo similar, el toma muestras (o por lo menos el 90% del camino de medición de los mismos) en las estaciones en las que se mide ozono, está alejado de hornos, incineradores u otras fuentes menores emisoras de SO₂ o NO que pudieran reaccionar químicamente para conformar ozono y tener un efecto de barrido (scavenging) que cause concentraciones bajas de O₃ no representativas de la zona de influencia del toma muestras.
- ✓ Distancia desde estructuras de soporte hasta el toma muestra horizontal o vertical, o 90 % de la distancia al camino de medición (metros): Todas las estaciones cumplen con lo establecido en la Tabla 29. “Criterios para ubicar toma muestras y caminos de medición” del *Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire del entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010)*.

- ✓ La distancia al obstáculo más alto cercano a cada una de las estaciones está a una distancia dos (2) veces mayor a la diferencia de altura entre él toma muestras y el obstáculo más cercano, lo que garantiza que el flujo de aire no es restringido y por tanto representatividad del estado de la calidad del aire.

Altura desde el piso al toma muestra horizontal o vertical, u 80% de la altura hasta el camino de medición (metros): Ocho (8) estaciones se encuentran en el rango de altura entre 2-3 a 15 metros sugerido en la citada tabla 29 y tres (3) estaciones, particularmente, Usaquéen, Puente Aranda y Min Ambiente están ubicadas a una altura de 16.45; 18.70 y 24.60 metros respectivamente. Sin embargo, la ubicación del toma muestra se ubica dentro de los límites de altura de la capa de mezcla, sin importar el cambio vertical de la atmosfera durante el transcurso del día, capturando datos que reflejan el perfil de concentración de contaminantes en la atmosfera mezclada, en concordancia con lo establecido por Stull 2011 “la altura de capa de mezcla es la altura, a la que la atmosfera está bien mezclada, donde se considera que las características son prácticamente homogéneas en la vertical, incluyendo la concentración de cualquier compuesto o contaminante”¹

Teniendo en cuenta lo anterior y dado que la altura a 15 metros desde el piso al toma muestra se supera en tres estaciones (Usaquen, Puente Aranda y Min Ambiente, la RMCAB, solicitó concepto técnico al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Anexo 3) al respecto y este conceptúa *“considerando lo establecido en el protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire son distintos los criterios de micro localización de las estaciones, muestreadores o sensores para monitorear calidad del aire, sin embargo, la altura máxima de monitoreo no es un aspecto obligatorio, es un criterio para cumplir en todas las estaciones en la medida de lo posible. Al respecto, es importante señalar que tal y como se establece en la sección 5.5.7, los Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire Avanzados como el de Bogotá, deben revisar el diseño de su sistema cada 3 años, y en este proceso se debe buscar dar cumplimiento a todos los criterios definidos”*, por consiguiente, el presente documento ratifica que la altura de las estaciones no deberá ser cambiada.

En ese orden de ideas cabe anotar que la información histórica recolectada por las estaciones solo es comparable y trazable cuando la estación no se modifica, ya sea en ubicación o en obstáculos cercanos a la misma. Es por ello, que la re-ubicación de estas tres estaciones sería contraproducente para la ciudad, ya que se perderían datos históricos de más de 15 años sin contar con el tiempo que demore la reubicación y puesta en marcha de las estaciones.

¹ Stull, R. (2011) Meteorology for scientists and engineers (Pag 696-700)



4. ESTADO DE LOS SENSORES Y ANALIZADORES DISPONIBLES EN CADA ESTACIÓN DE LA RMCAB

Para definir el estado de los sensores, monitores y analizadores se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- Métodos de medición utilizados por los equipos analizadores de la RMCAB
- Depreciación de los equipos analizadores de la RMCAB

A continuación, se describe el detalle de cada de ellos

4.1 Métodos de medición utilizados por los equipos analizadores de la RMCAB

Los métodos de medición utilizados por los monitores de la RMCAB se encuentran descritos en la lista de métodos de referencia y equivalentes designados por la Agencia de protección Ambiental de Estados Unidos – USEPA, publicada en el enlace <https://www3.epa.gov/ttn/amtic/criteria.html>, los métodos de referencia se encuentran establecidos en el Título 40 del CFR (Code of Federal Regulations), los cuales están aprobados por la USEPA. En la Tabla 3 se listan los métodos y marcas de equipos analizadores de la RMCAB.

Tabla 3 Métodos de medición utilizados por los monitores de la RMCAB

MÉTODO	MÉTODO DE REFERENCIA Y EQUIVALENTE AUTOMÁTICO
40 CFR Appendix L to part 50—reference method for the determination of particulate matter as PM10 in the atmosphere.	EQPM-0798-122 (MET ONE-BAM1020) EQPM-1102-150 (THERMO FH)
40 CFR Appendix L to Part 50, reference method for the determination of fine particulate matter as pm2.5 in the atmosphere	EQPM-0308-170, EQPM-0715-266 (MET ONE-BAM1020) EQPM-0609-183 (THERMO 5014i)
40 CFR Appendix A-1 to Part 50—reference measurement principle and calibration procedure for the measurement of sulfur dioxide in the atmosphere (ultraviolet fluorescence method).	EQSA-0495-100 (TELEDYNE TAPI 100E), EQSA-0486-060 (THERMO 43i)
40 CFR Appendix D to part 50— measurement principle and calibration	EQQA-0193-091 (ECOTECH 9811), EQQA 0992-087 (TELEDYNE 400E)



Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB

MÉTODO	MÉTODO DE REFERENCIA Y EQUIVALENTE AUTOMÁTICO
procedure for the measurement of ozone in the atmosphere.	
40 CFR Appendix C to part 50— measurement principle and calibration procedure for the measurement of carbon monoxide in the atmosphere (non-dispersive infrared photometry).	RFCA-0981-054 (THERMO 48i) RFCA-1093-093 (TELEDYNE 300E) RFCA-0992-088 (ECOTECH EC9830)
40 CFR Appendix F to part 50— measurement principle and calibration procedure for the measurement of nitrogen dioxide in the atmosphere (gas phase chemiluminescence).	RFNA- 1289-074 (THERMO 42i) RFNA -1194-099 (TELEDYNE 200E) RFNA-1292-090 (THERMO 42i)

Para conocer el detalle de la ubicación de cada uno de los equipos analizadores en las estaciones de la RMCAB Ver Anexo 1. Ficha Técnica de las estaciones RMCAB.

4.2 Depreciación de los equipos analizadores de la RMCAB

La depreciación hace referencia al potencial nivel de disminución en servicio que pueden estar presentando los equipos de la RMCAB considerando el tiempo que llevan operando; en la Figura 6 y la Figura 7, se presenta una gráfica donde se puede observar en porcentaje la cantidad de equipos de acuerdo al año en que comenzaron a operar.

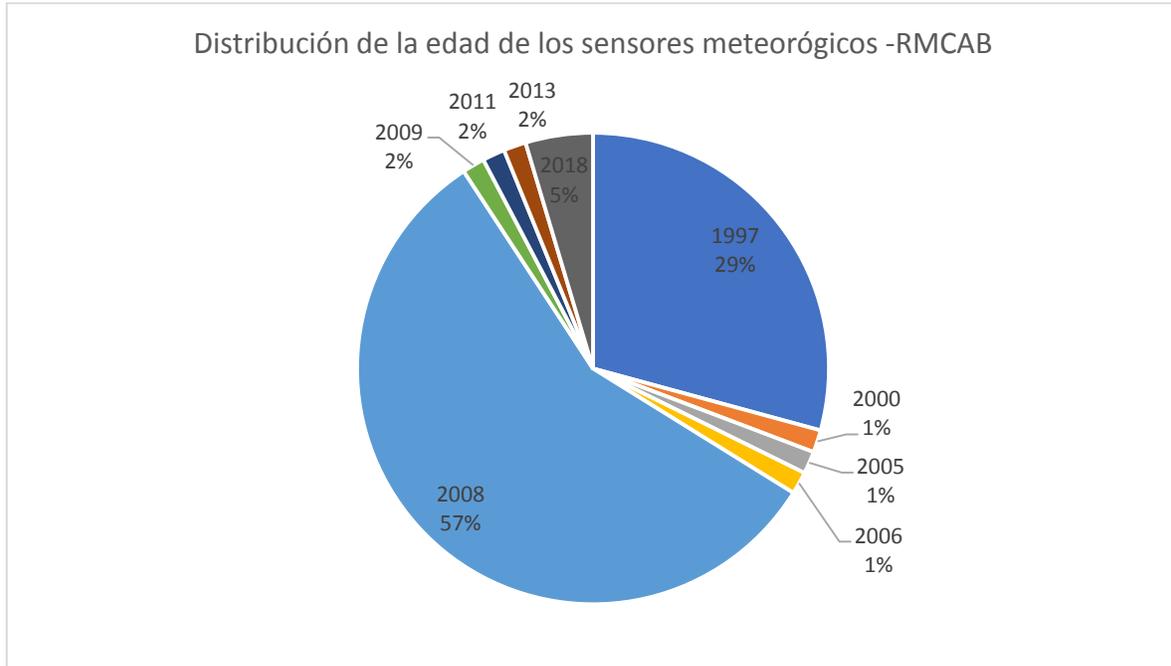


Figura 6 Distribución por años para los sensores meteorológicos adquiridos en la RMCAB

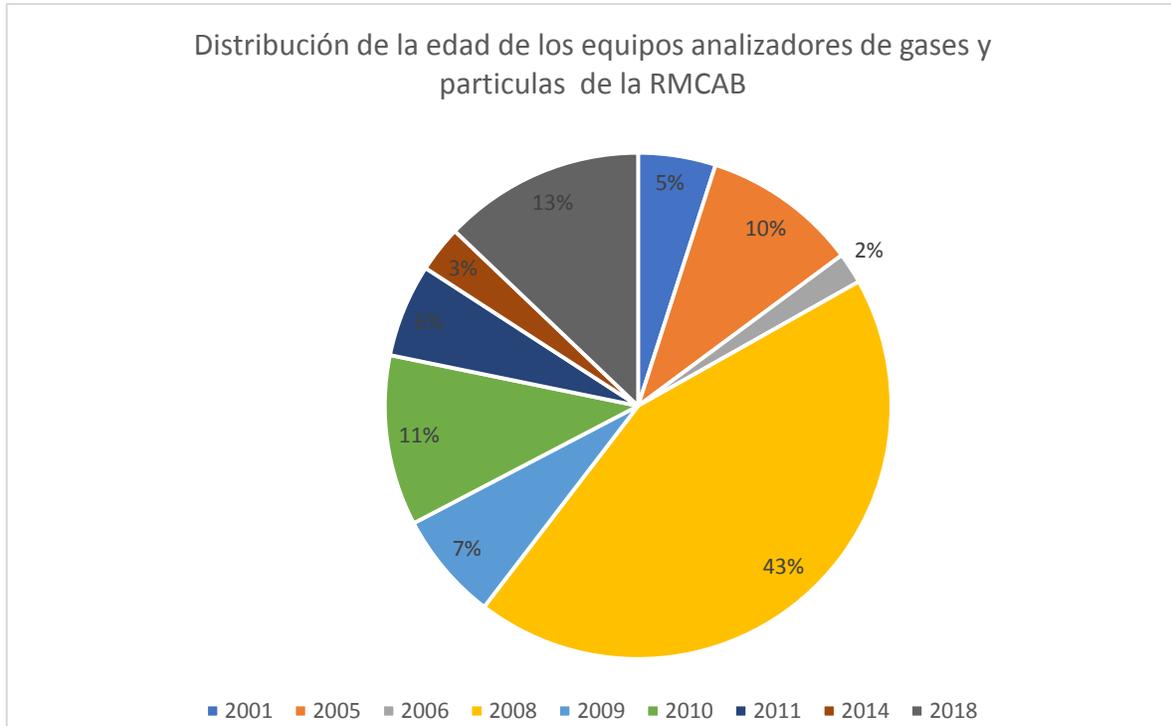


Figura 7. Distribución por años para los equipos analizadores de partículas y gases adquiridos en la RMCAB

De acuerdo con el gráfico anterior, se evidencia que la mayoría de los equipos de monitoreo de calidad del aire, cuentan con un periodo de uso de aproximadamente 10 años, aunque es de precisar que estos son usados con una operación diaria (24 horas) durante los 365 del año.

El 43% de los analizadores de contaminantes y el 57% de los sensores meteorológicos fueron adquiridos en el 2008, por lo cual se precisa sustituir los equipos más antiguos por equipos más recientes, para mejorar la calidad de los datos obtenidos y realizar mediciones con equipos de mejor tecnología.

Como mejora continua y teniendo en cuenta los criterios de calidad establecidos en el método de referencia apéndice D del QA Handbook Volumen II 40 CFR Part sección 53.32, donde se determina las condiciones de los sensores que se deben utilizar para controlar las condiciones ambientales al interior de la estación. La RMCAB ha realizado el proceso contractual necesario para la adquisición de los sensores descritos en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 4. Sensores para el control de las condiciones ambientales de las estaciones de la RMCAB

ÍTEM	BIEN	CANTIDAD	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	JUSTIFICACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO O NORMATIVO
1	Sensor de humedad y temperatura que reporte temperatura mínima, temperatura máxima, temperatura actual, humedad relativa actual, mínima y máxima.	12	<p>Rango de Medición: El rango de medición en las siguientes condiciones:</p> <p>Temperatura: -20°C a 50°C</p> <p>Humedad Relativa: 0 – 100%</p> <p>Precisión Temperatura Precisión de $\pm 2^\circ\text{C}$. Resolución de escala de medición de 0,1°C.</p> <p>Precisión Humedad Relativa Con una precisión de $\pm 3\%$. Resolución de escala de medición de 0,5%.</p> <p>Comunicaciones:</p> <p>Software: Envidas Ultimate.</p>	Conforme a apéndice D, del QA Handbook Volumen II 40 CFR Part 53.32

ÍTEM	BIEN	CANTIDAD	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	JUSTIFICACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO O NORMATIVO
			<p>Protocolo de comunicación: Analógica de 0 a 1 voltio ó 0-5 voltios ó 0-10 voltios ó RS232.</p> <p>Display (pantalla).</p> <p>Tipo de Instalación: Pared</p> <p>Trazabilidad: El patrón con el que se realice la calibración, debe llegar hasta la trazabilidad NIST.</p>	

4.3 Estándares de calibración-RMCAB

Con el fin de evaluar la confiabilidad de los datos arrojados por los equipos analizadores de la RMCAB, estos son verificados y/o calibrados semanalmente o según aplique. Para esto es necesario contar con patrones de referencia tales como: gases de calibración, calibrador dinámico de gases, calibradores de flujo. A continuación se presentan los equipos con los que cuenta la RMCAB.

- Calibrador primario de Ozono (O₃)

	Ubicación: Estación Las Ferias
	Inicio de operación: 2008
	Serial: TAPI 703E
	Placa de inventario: 6826
	Fecha de última calibración: 2018/02/05
	El Fotómetro Patrón de Referencia asegura mediciones confiables de Ozono, opera como patrón para la

	calibración de los generadores de ozono y fotómetros.
--	---

- Gases de calibración

En la Tabla 5 se describe la composición de los gases de calibración utilizada por la RMCAB para la verificación de los analizadores de gases.

Tabla 5 Composición de la mezcla de gases usado para la verificación de los analizadores de gases de la RMCAB

No.	MEZCLA	UNIDAD DE MEDIDA	USOS
1	Mezcla de gas combinado: NO 50ppm. SO ₂ 50ppm, CO 1000 ppm N ₂ balance	m ³	-Verificación rutinaria de analizador - Calibración de Analizadores de Gases

Estas mezclas son almacenadas en cilindros descritos en la Tabla 6 (Placa inventario, serial, ubicación, certificado de gases)

Tabla 6 Listado de cilindros disponibles en la RMCAB

PLACA DE INVENTARIO	SERIAL	UBICACIÓN	VIGENCIA CERTIFICADO DE GASES
1755	SG9139368	Unidad Móvil	Vigente
6817	CC260396	Ferías	Vigente
2379	CC36660	Guaymaral	Vigente
3700	CC83173	Usaquén	Vigente
No tiene	CC59017	Centro de Alto Rendimiento	Vigente
1659	CC36650	Carvajal	Vigente
1644	CC70968	Puente Aranda	Vigente
1775	CC55907	Kennedy	Vigente
1717	SG9133790	Tunal	Vigente
10941	FF34394	Carro Taller	Vigente

Al realizar la evaluación se identificó que la RMCAB tiene 17 cilindros que no se están usando y estos tienen en promedio 12 años de servicio, se debe revisar cuáles pasan la prueba hidrostática y los que no, deben ser dados de baja. Igualmente se debe contratar la disposición de los gases que están vencidos y/o remanentes. A continuación, se presentan los cilindros que no se encuentran en uso.

Tabla 7 Listado de cilindros fuera de uso-RMCAB

PLACA DE INVENTARIO	SERIAL	UBICACIÓN	VIGENCIA CERTIFICADO DE GASES
3699	CA04507	Ferías	Vencido
12086	CC400747	Bolivia PTAR	Vencido
6816	CC260383	Bolivia PTAR	Vencido
1606	CA04510	Bolivia PTAR	Vencido
12085	CC400750	Bolivia PTAR	Vencido
12171	CC400758	Bolivia PTAR	Vencido
1703	CC94063	Usaquén	Vencido
1734	SG9135815	Carvajal	Vencido
1621	CC71061	Kennedy	Vencido
3702	87001308	Tunal	Vencido
10938	1207152	Tunal	Vencido
12056	1394156	Tunal	Vencido
2397	FF33927	Tunal	Vencido
12172	CC400749	Unidad Móvil	Vencido
No tiene	86812	Tunal	Vencido
No tiene	SG9128366	Ferías	Vencido
No tiene	86819	Tunal	Vencido

- Calibradores de Flujo

Tabla 8. Medidores de flujo de la RMCAB

EQUIPO	PLACA	MARCA	MODELO	UNIDAD DE MEDIDA	RANGO(S)	DIVISIÓN ESCALA
Flujometro	No tiene	BIOS	Definer 220-L	scc/min	5 - 500	0,01
Flujometro	No tiene	BIOS	Definer 220-H	scc/min	300 - 30,000	0,01
Flujometro	6205	Chinook Engineering	STREAMLINE PRO MULTICAL SYSTEM	LPM	0.9 - 19.0	0.01
Flujometro	13883	N/A	Alicat Scientific	M-500SCCM-D/5M	500.0	0,01
Flujometro	13882	N/A	Alicat Scientific	M-50SLP-D	30.00	0,01

Adicionalmente a los patrones anteriormente descritos, la RMCAB ha realizado el proceso contractual necesario para contar con los patrones descritos en la Tabla 9, con el fin de cumplir con los criterios de calidad establecidos en el método de referencia apéndice D del QA Handbook Volumen II 40 CFR Part sección 53.32, para hacer la verificación de los sensores que miden las condiciones ambientales al interior de las estaciones.

Tabla 9 Patrones de temperatura, presión y humedad

ÍTEM	BIEN	CANTIDAD	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	JUSTIFICACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO O NORMATIVO
1	Patrón estándar de temperatura	1	<p>Patrón estándar de temperatura</p> <p>Rango de medición: Temperatura: Rango: -10°C a 50°C Precisión: ±0.5 °C Resolución una escala de medición: 0.1°C</p> <p>Display (pantalla).</p> <p>Trazabilidad:</p> <p>El patrón con el que se realice la calibración debe llegar hasta la trazabilidad NIST.</p> <p>Condiciones de Operación:</p> <p>El dispositivo que se requiere debe funcionar como un patrón independiente a cualquier sistema interno de las estaciones de monitoreo.</p>	Conforme a los ítems 1, 2 y 3) QA Handbook Volume 2 Sec. 7.2.2
2	Patrón estándar de presión	1	<p>Patrón estándar de presión.</p> <p>Rango de medición: Rango: 450 a 825 mmHg Precisión: ± 2 mmHg Resolución: 1 mmHg</p> <p>Display (pantalla).</p> <p>Trazabilidad:</p>	Conforme a los ítems 1, 2 y 3) QA Handbook Volume 2 Sec. 7.2.2

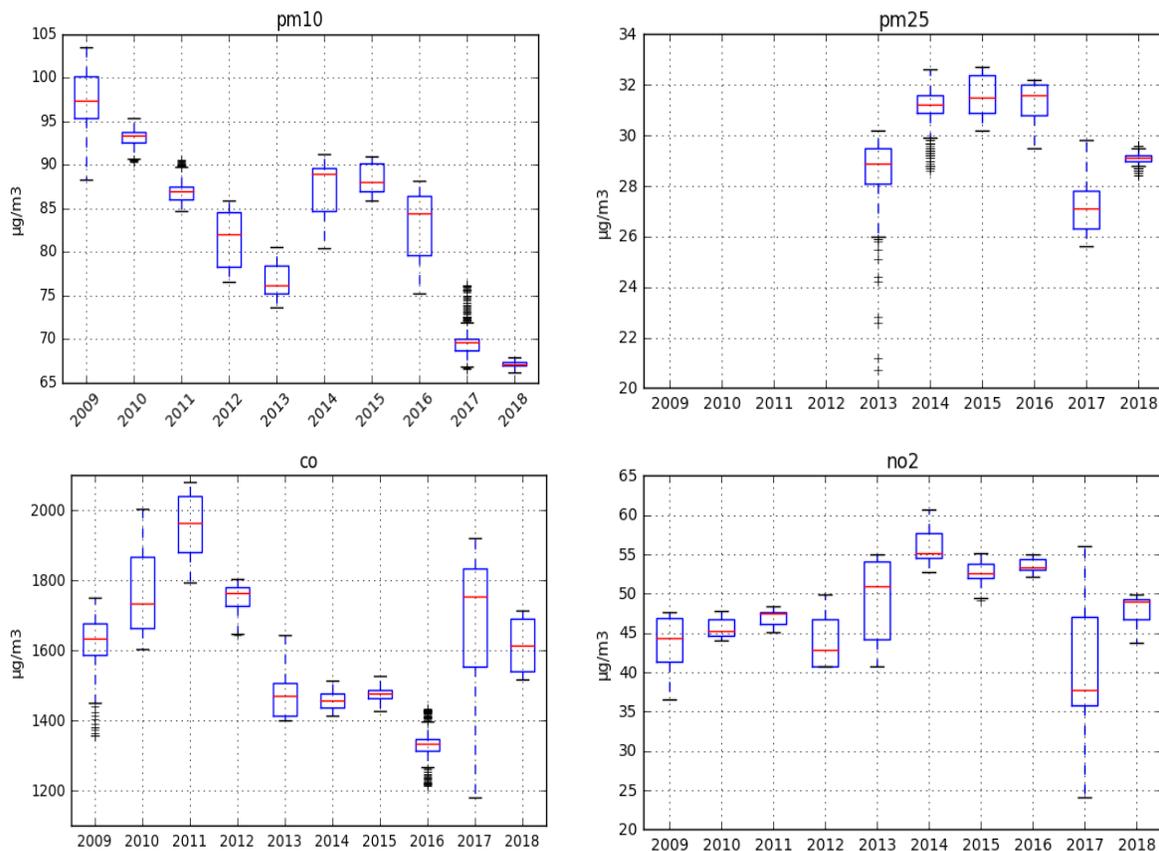
ÍTEM	BIEN	CANTIDAD	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	JUSTIFICACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO O NORMATIVO
			<p>El patrón con el que se realice la calibración, debe llegar hasta la trazabilidad NIST.</p> <p>Condiciones de Operación:</p> <p>El dispositivo que se requiere debe funcionar como un patrón independiente a cualquier sistema interno de las estaciones de monitoreo.</p>	
3	Patrón estándar de humedad relativa	1	<p>Patrón estándar de Humedad relativa.</p> <p>Rango de medición:</p> <p>Rango: 0-100% Precisión: ±1% Resolución:0.5%</p> <p>Sistema de almacenamiento: Como respaldo, debe contar con un sistema de almacenamiento interno y display (pantalla).</p> <p>Con una memoria de almacenamiento.</p> <p>Condiciones de Operación:</p> <p>El dispositivo que se requiere debe funcionar como un patrón independiente a cualquier sistema interno de las estaciones de monitoreo.</p>	

5. ANÁLISIS DEL HISTÓRICO DE MEDICIÓN DE LA RMCAB

Este capítulo presenta el análisis histórico de la tendencia de los contaminantes para los últimos 10 años de registros en la base de datos de la RMCAB. Se utilizaron medias móviles anuales con base en promedios diarios para determinar el comportamiento de los contaminantes en cada estación. Se utilizaron los registros a partir del año 2008 debido a que hubo actualización de equipos en este periodo y la mayoría de los monitores y analizadores fueron renovados. A continuación, se presenta el resultado del análisis para cada estación.

5.1 Carvajal-Sevillana

La estación Carvajal está clasificada como una estación mixta, debido a que en la ubicación donde se encuentra confluyen emisiones de actividad vehicular y actividad industrial. Por las emisiones inherentes a la zona, Carvajal usualmente registra los niveles más altos de contaminación en la ciudad exceptuando ozono. En la Figura 8 se muestra la tendencia registrada por la estación para los distintos contaminantes.



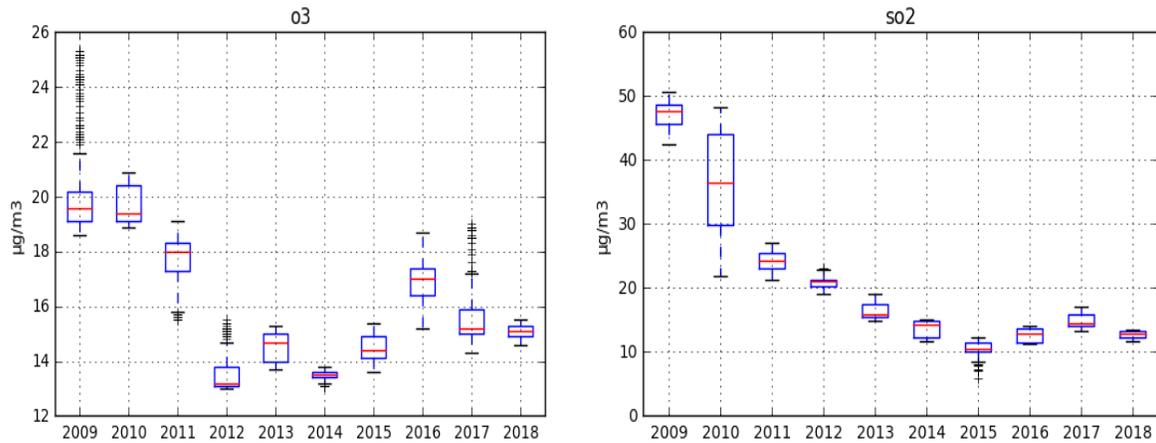


Figura 8 Comportamiento histórico de los contaminantes PM₁₀, PM_{2.5}, CO, NO₂, O₃ y SO₂ durante el periodo de 2008 al primer semestre de 2018 en la estación Carvajal.

En cuanto a PM₁₀, se observa tendencia a disminuir la concentración, pasando de valores promedio de 98 µg/m³ a 67 µg/m³. Cabe señalar que los periodos de mayor contaminación en años anteriores superaban este promedio y llegaban incluso a los 103 µg/m³, mientras que en los últimos años se registró un máximo de 77 µg/m³. Hay que resaltar que, aunque se registraron altas concentraciones en los años 2014 a 2016 la tendencia continúa a la baja.

Por otro lado, el PM_{2.5} se instaló en el año 2013, la tendencia nos muestra que no ha habido un comportamiento claro para este contaminante. Las concentraciones están oscilando entre los 27 µg/m³ y los 32 µg/m³.

Para CO ocurre algo similar al comportamiento registrado por el monitor de PM_{2.5}. En los últimos dos años se ha registrado un aumento de las concentraciones, luego de mostrar una tendencia de reducción hasta el 2016. Estos cambios pueden relacionarse con el aumento continuo de la flota vehicular. En especial el contaminante CO está asociado a la flota de motos y vehículos particulares que ha venido creciendo en los últimos años.

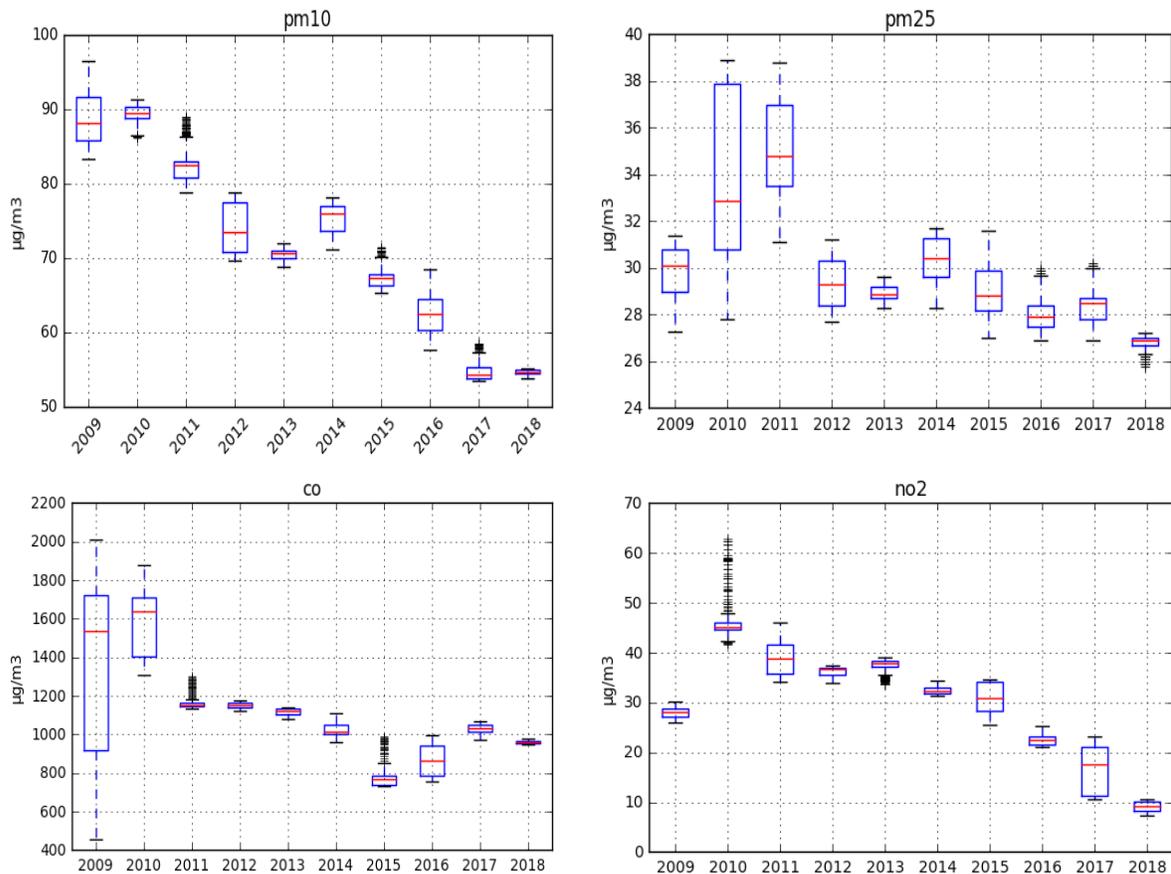
El NO₂ registra una leve tendencia al incremento de las concentraciones. Así como el CO, el NO₂ está relacionado con la flota vehicular, pero en este caso con los vehículos que utilizan combustible Diésel. La leve disminución observada en los últimos años puede asociarse al ingreso de nuevas tecnologías vehiculares que por obligación deben ser adquiridas para operar en la ciudad, reemplazando los vehículos con tecnologías de control de emisiones obsoletas desde el año 2015.

La concentración de ozono registra tendencia a la disminución hasta el año 2014 para nuevamente aumentar las concentraciones registrados en los siguientes años. Así mismo, durante el año 2017 se registraron varios picos atípicos de concentración de ozono en la estación, que fueron vistos de manera regional.

Finalmente, el SO₂ muestra tendencia de disminución marcada luego del año 2010. Esto directamente influenciado por el cambio de la composición de combustible aprobada para este mismo año. Aun así, en los últimos dos años se ha observado un leve aumento en las concentraciones. Este incremento puede asociarse al crecimiento de la flota vehicular, así como a una posible mayor actividad de las fuentes industriales cercanas a la estación.

5.2 Kennedy

La estación Kennedy está ubicada en el parque Cayetano Cañizares, y está clasificada como una estación de tráfico. Debido a su ubicación y las fuentes de emisión que influyen en la medición, esta estación está provista de monitores de partículas junto con analizadores de gases para los contaminantes criterio. En la Figura 9 se presenta el comportamiento de los contaminantes para los últimos diez años registrados.



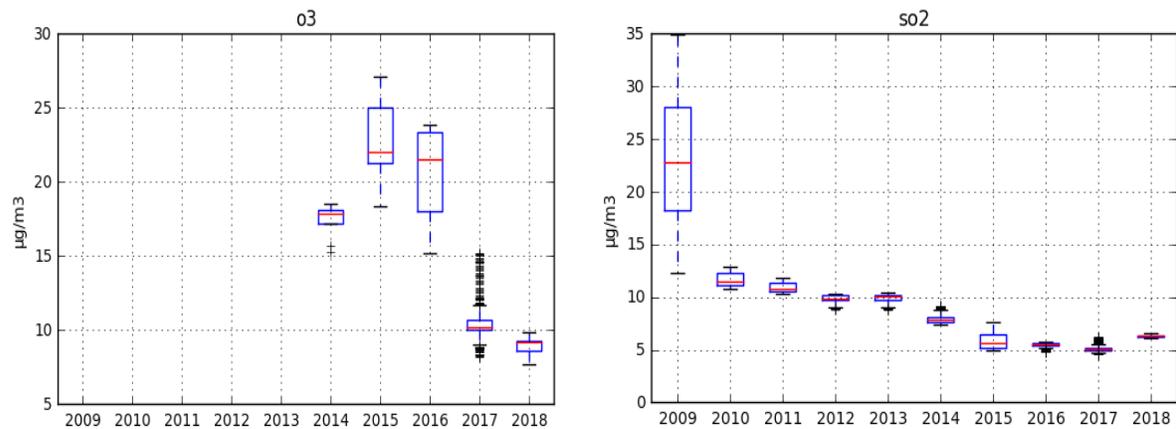


Figura 9 Comportamiento histórico de los contaminantes PM_{10} , $PM_{2.5}$, CO , NO_2 , O_3 y SO_2 durante el periodo de 2008 al primer semestre de 2018 en la estación Kennedy.

El PM_{10} ha registrado disminución de concentración continua en el periodo evaluado, de manera similar a la estación Carvajal, se ha disminuido la concentración significativamente pasando de $88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La variación de la concentración registrada en los últimos años es mucho menor por lo que puede decirse que los episodios de contaminación pico cada vez son menos frecuentes en la zona.

En cuanto a $PM_{2.5}$, se observa una leve tendencia a la baja. Aun así, se continúa superando el límite máximo permisible para promedios anual de concentración. Cabe resaltar que al igual que en el caso de PM_{10} , se observa un comportamiento mucho más estable y por lo tanto una disminución apreciable de eventos de contaminación fuertes.

Por otro lado, el CO muestra tendencia a la baja, pero en los últimos años ha aumentado levemente la concentración registrada. Al igual que el SO_2 , este comportamiento puede asociarse al incremento de actividad vehicular como ya se mencionó anteriormente.

El NO_2 registrado en la estación muestra un continuo descenso en la concentración. Cabe resaltar que el analizador de NO_x de la estación de Kennedy estuvo en mantenimiento y reparaciones durante finales del 2017 y la mayoría del 2018 por lo que el último dato puede no ser representativo para las condiciones reales de la zona. A pesar de este inconveniente, la tendencia es clara y puede reflejarse en la disminución de actividad de vehículos Diésel, así como la implementación de mejores tecnologías de control de emisiones.

Por último, el registro de ozono en esta estación se realizó desde el año 2014, debido a que solo se tienen 5 años de datos, la tendencia muestra una disminución considerable desde el inicio del registro.

5.3 Tunal

La estación Tunal está clasificada como una estación de tráfico por su ubicación cercana a una intersección vial. Debido a la naturaleza de la zona, la estación esta provista de monitores de partículas en conjunto con analizadores de gases de contaminantes criterio. La Figura 10 resume el comportamiento histórico de los contaminantes en esta estación.

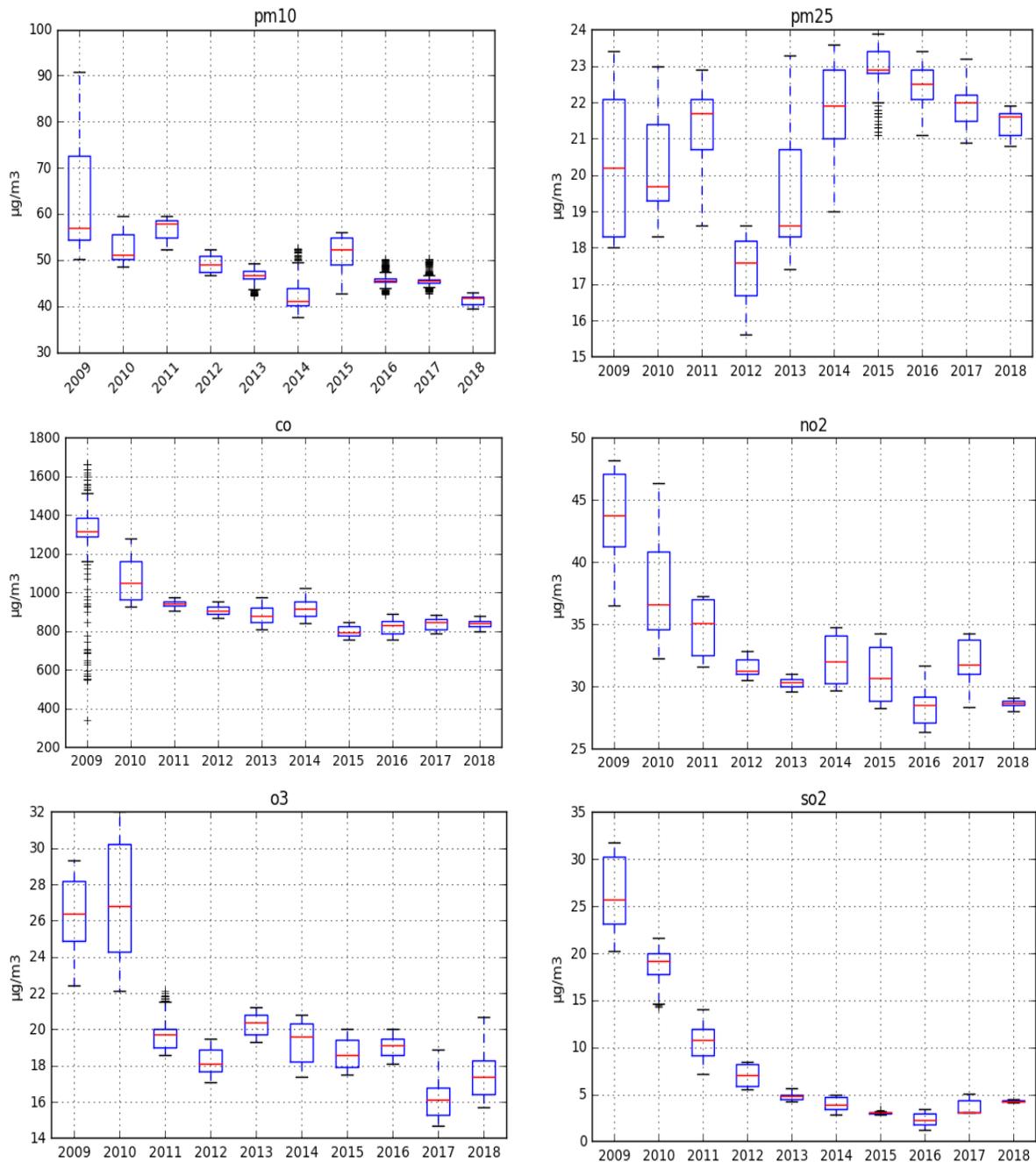




Figura 10 Comportamiento histórico de los contaminantes PM₁₀, PM_{2.5}, CO, NO₂, O₃ y SO₂ durante el periodo de 2008 al primer semestre de 2018 en la estación Tunal.

Para el PM₁₀ se observa tendencia a la disminución de concentración, pasando de promedios de 57 µg/m³ a 42 µg/m³ aproximadamente. Al igual que en estaciones anteriores se hace evidente la disminución de episodios de altas concentraciones en esta zona a partir del 2010. En cuanto a PM_{2.5}, se registra una ligera tendencia al alza, lo que puede relacionarse al aumento de actividad vehicular en la zona, así como el crecimiento poblacional en zonas aledañas que pueda generar contaminación transportada a la zona de cobertura de la estación.

Por otro lado, la concentración de CO pareciera mostrarse estable en los últimos 10 años, sin una variación considerable desde el año 2011. Por su parte el NO₂ muestra una disminución constante hasta el año 2016, luego se refleja un aumento considerable de la concentración respecto al año anterior.

El ozono muestra una disminución marcada de 6 µg/m³ a partir del año 2010, posiblemente relacionado a un cambio de equipo por la estabilidad de la medición a partir de esta fecha. El SO₂ al igual que en las estaciones analizadas anteriormente, muestra un descenso continuo en las concentraciones que tiende a aumentar en los últimos años probablemente por aumento de actividad vehicular de flota pesada en la zona cercana.

5.4 Puente Aranda

La estación Puente Aranda está clasificada como una estación mixta, debido a la cercanía al centro industrial de la ciudad y a las vías alrededor de la misma. Dentro del proceso de incluir monitores de PM_{2.5} para todas las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá- RMCAB, Puente Aranda fue la última estación en la que se instaló este equipo, por lo cual solo tiene registro de datos desde el año 2016. Al ser una estación mixta está dotada con monitores y analizadores de contaminantes criterio.

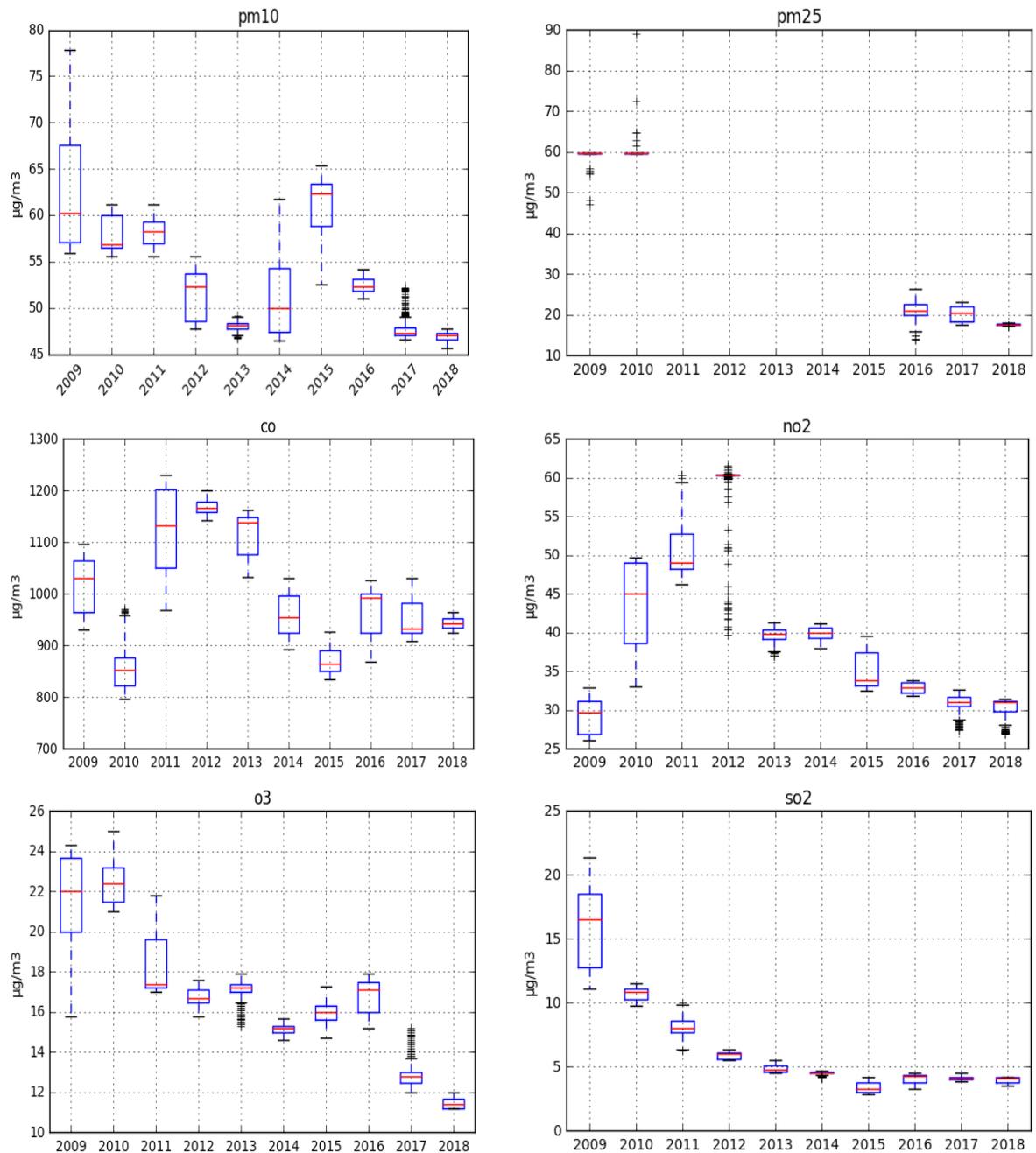


Figura 11 Comportamiento histórico de los contaminantes PM₁₀, PM_{2.5}, CO, NO₂, O₃ y SO₂ durante el periodo de 2008 al primer semestre de 2018 en la estación Puente Aranda.

Los registros de PM₁₀ muestran una disminución considerable de la concentración en los años pasados, pasando de promedios de 60 a 47 µg/m³ aproximadamente. De igual forma como en estaciones pasadas, en los últimos años no se reflejan episodios de contaminación fuerte como en los primeros años del análisis, se mantiene estable la medición a lo largo del

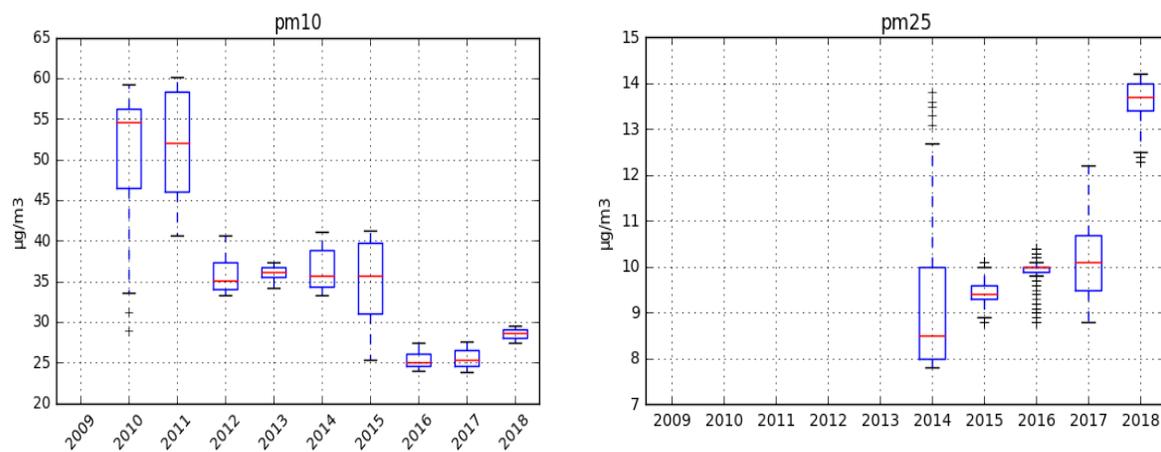
tiempo. Debido al corto registro histórico de $PM_{2.5}$, se observa que ha tenido una tendencia a disminuir, pasando de 21 a $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

El CO y el SO_2 muestran una tendencia a disminuir hasta el año 2016 y luego tienen leves incrementos de concentración. Al igual que en las estaciones analizadas anteriormente se atribuye al aumento de la actividad vehicular en la zona.

Por último, el O_3 y el NO_2 muestran comportamientos similares, presentando una tendencia a la baja. Aunque el comportamiento de los últimos años respecto a estos contaminantes puede parecer atípico, se manifiesta en otras estaciones, siendo un comportamiento espacial y no único de la estación en cuestión.

5.5 San Cristóbal

La estación San Cristóbal está clasificada como una estación de fondo. Ubicada en el parque San Cristóbal la fuente más cercana es una vía de bajo flujo vehicular. Además, las corrientes catabáticas que bajan de los cerros orientales tienden a lavar la atmosfera de las emisiones que se puedan generar en la zona. En la Figura 12 se registran los resultados del análisis de datos.



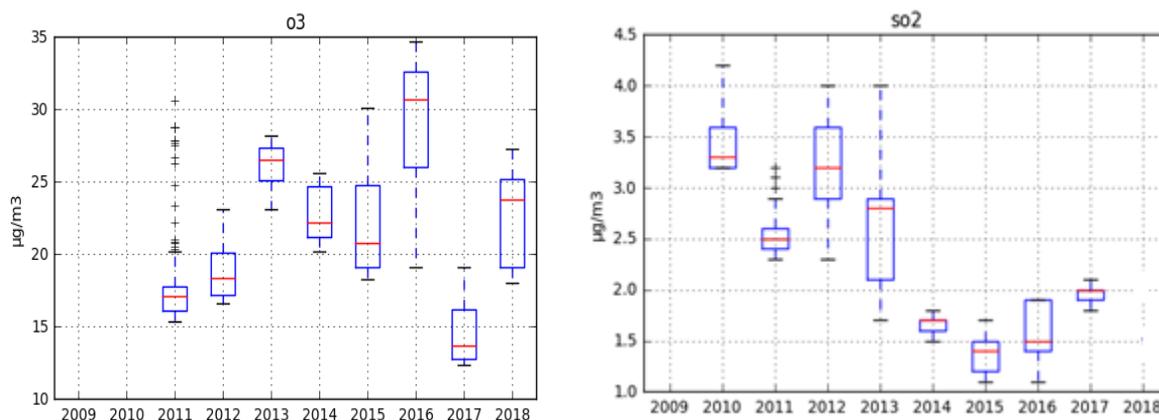


Figura 12 Comportamiento histórico de los contaminantes PM₁₀, PM_{2.5}, O₃ y SO₂ durante el periodo de 2008 al primer semestre de 2018 en la estación San Cristóbal.

El PM₁₀, registra disminución de aproximadamente 20 µg/m³ a partir del 2008, llegando a concentraciones de 28 µg/m³ para la media móvil de 2018, aunque en este año se evidencia un leve aumento en las concentraciones. PM_{2.5} y PM₁₀ tienen el mismo comportamiento en los últimos años. Se presenta un aumento en las concentraciones especialmente en los últimos dos años, que, aunque aún son las más bajas de la ciudad pueden estar representando efectos de las dinámicas poblacionales de la ciudad, así como efectos de contaminación transfronteriza.

En cuanto al ozono, no se evidencia una tendencia, se registra variación de las concentraciones entre 14 y 32 µg/m³, siendo la media móvil de 2016 la mayor concentración registrada para el periodo evaluado.

Por último, se propuso la medición de SO₂ en la estación como un punto de comparación de concentración de fondo, pero debido a las bajas concentraciones que se registraban y su baja variabilidad el equipo técnico de la RMCAB decidió reubicar el equipo en otro punto de monitoreo a mediados del año 2017.

5.6 MinAmbiente

La estación de Ministerio de Ambiente está clasificada como estación de tráfico por su proximidad a la carrera séptima en el centro geográfico de la ciudad. Esta estación se ubica sobre la terraza del edificio del Ministerio de Ambiente y por lo tanto está a una mayor altura de la propuesta para estaciones de calidad del aire. Debido a su ubicación, esta estación tiene una cobertura mayor a otras en la red y suele verse afectada cuando hay eventos regionales de contaminación. La Figura 13 representa el resumen del comportamiento histórico del registro de contaminantes en la estación.

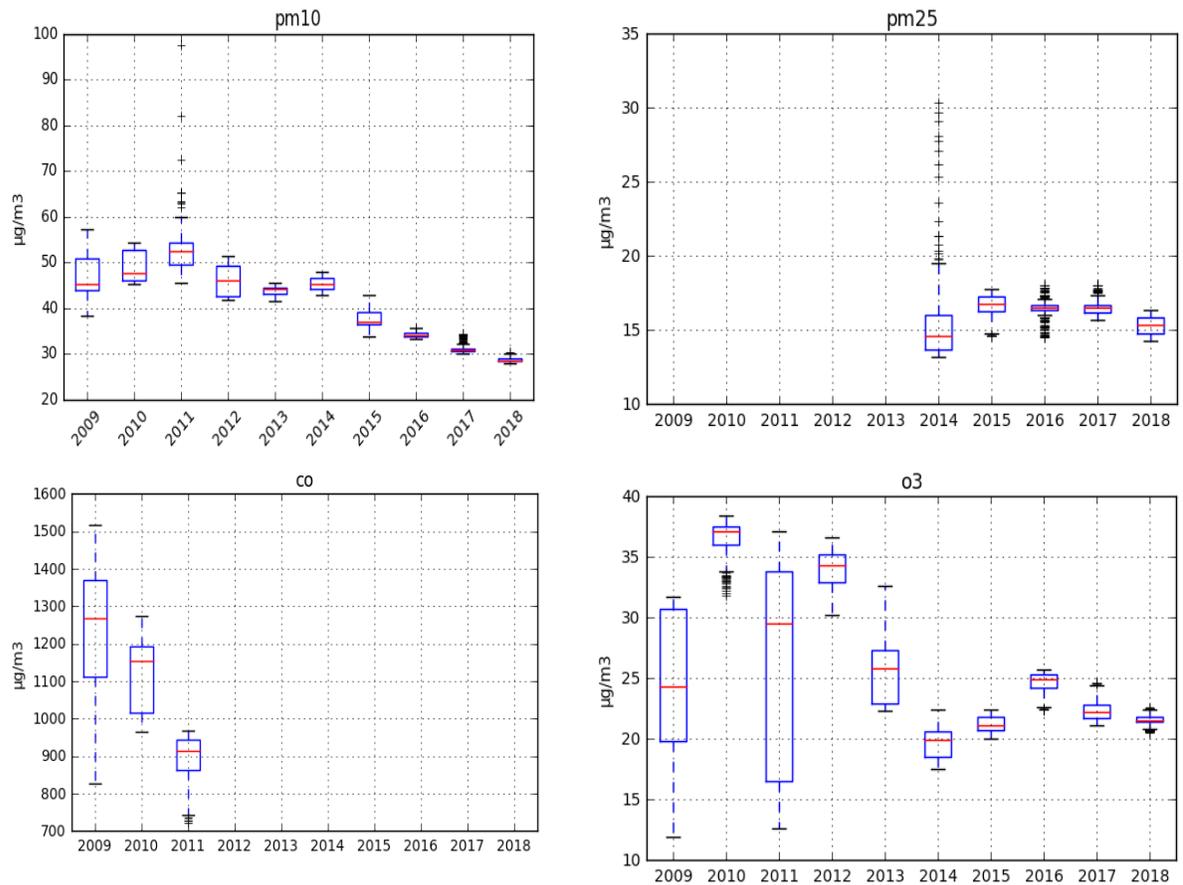


Figura 13 Comportamiento histórico de los contaminantes PM₁₀, PM_{2.5}, CO y O₃ durante el periodo de 2008 al primer semestre de 2018 en la estación Min Ambiente.

El PM₁₀ de esta estación registra tendencia a la disminución de las concentraciones, pasando de concentraciones de 45 µg/m³ a 29 µg/m³. En cuanto a PM_{2.5}, se observa una estabilidad en las mediciones, con concentraciones oscilando entre los 14 y los 17 µg/m³.

El gas CO se monitoreo en esta estación hasta el año 2011 debido a la altura de la estación al posible efecto de baja exposición sobre el toma muestra para este contaminante en específico.

En cuanto a ozono, se observa una leve tendencia a la baja de las concentraciones con un aumento para el año 2016 para luego continuar con la tendencia.

5.7 CDAR

La estación ubicada en Centro de Alto Rendimiento está clasificada como una estación de fondo por la distancia que mantiene con las fuentes cercanas y su ubicación dentro del centro recreativo. En esta estación confluyen los vientos de gran parte de la ciudad por lo

que en ocasiones se registran picos de concentración. La Figura 14 resume los resultados del monitoreo realizado en la estación.

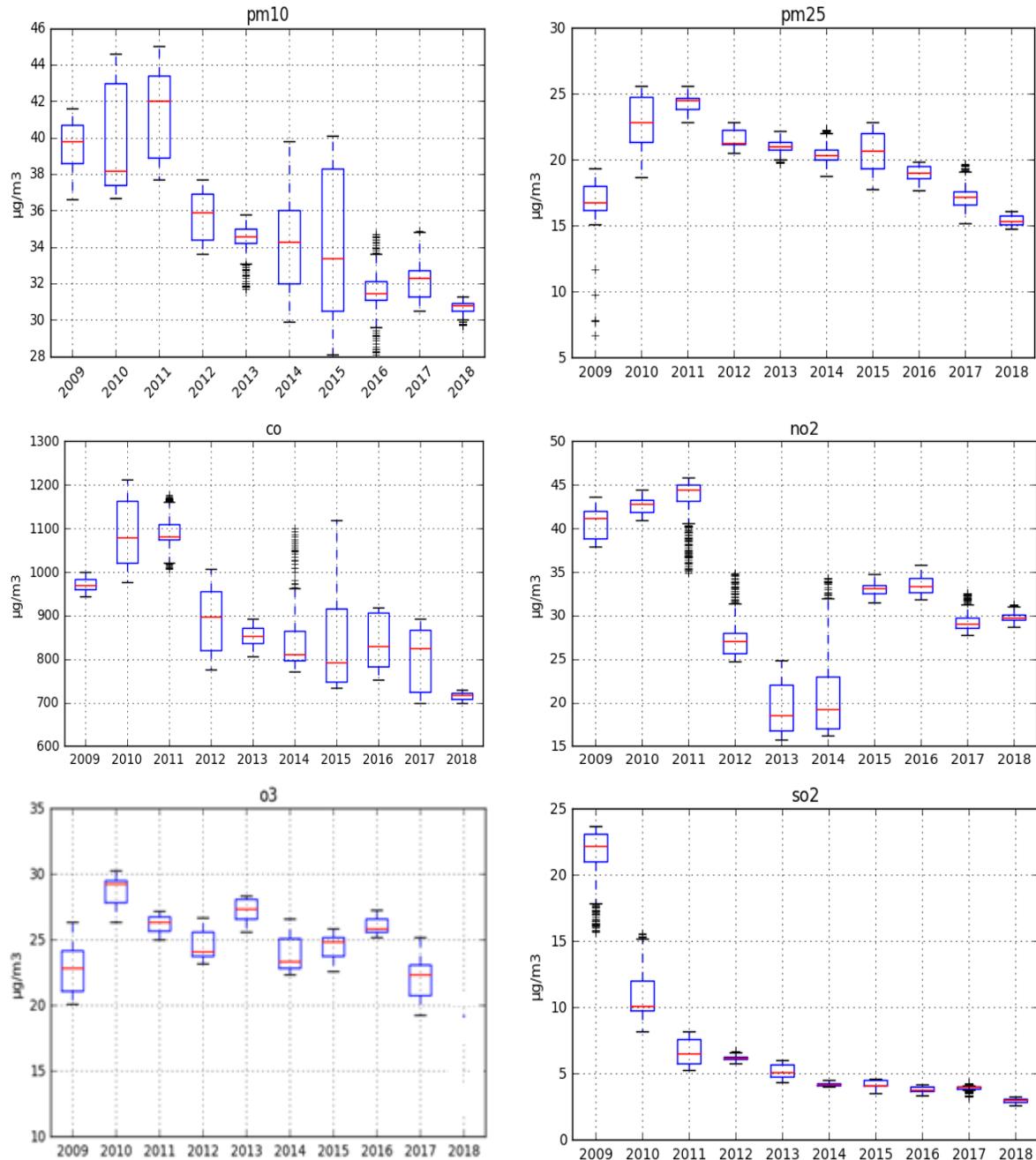


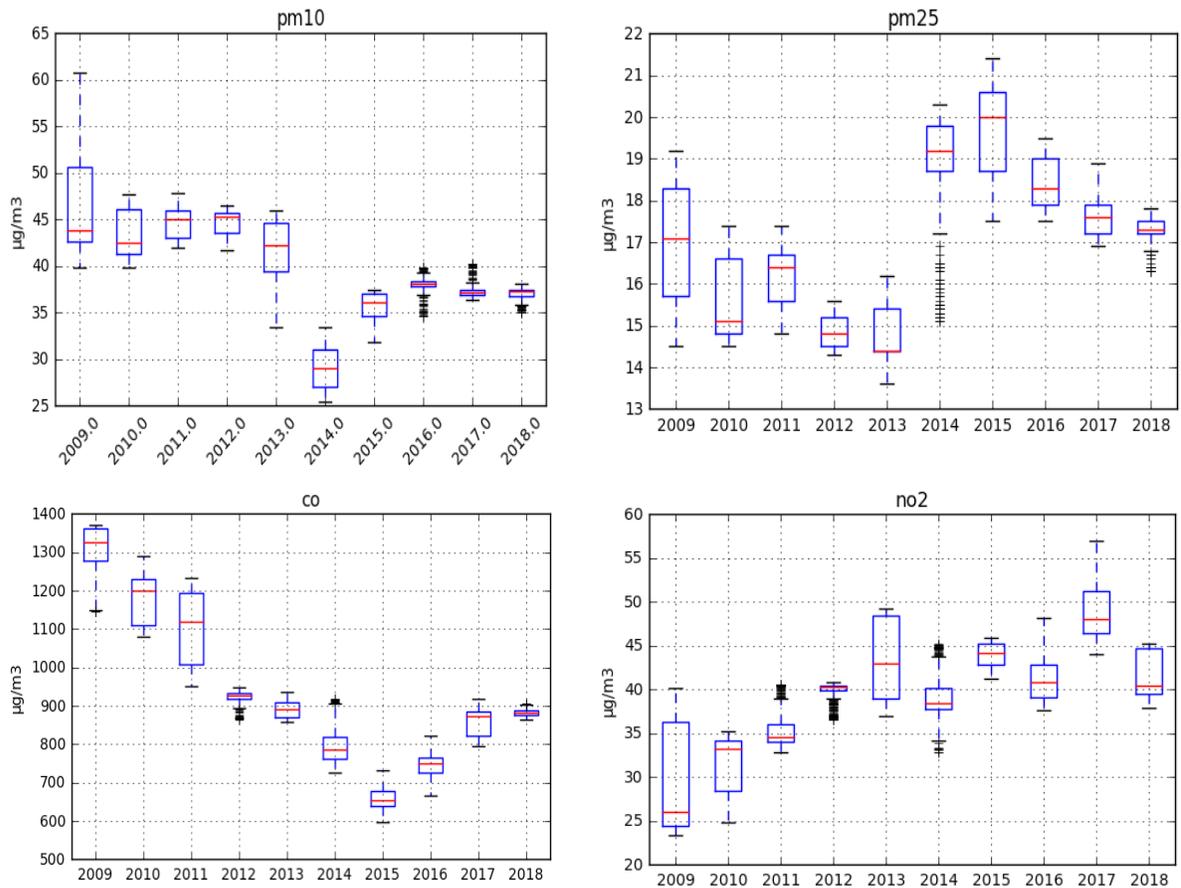
Figura 14 Comportamiento histórico de los contaminantes PM₁₀, PM_{2.5}, CO, NO₂, O₃ y SO₂ durante el periodo de 2008 al primer semestre de 2018 en la estación CDAR.

El PM₁₀ registra tendencia a la disminución, pasando de 42 µg/m³ a 32 µg/m³. Siendo de las estaciones con las concentraciones más bajas en la ciudad. De manera similar, el PM_{2.5} tiende a disminuir, luego del año 2011, de 25 a 16 µg/m³.

El CO también tiende a disminuir, especialmente en el último año, esto se asocia a la ubicación alejada de las fuentes principales de la zona. De manera similar, el NO₂, tiene una tendencia leve a la disminución de concentración, aunque mantiene niveles de concentración similares a los del sur de la ciudad. El ozono muestra estabilidad en las medidas realizadas, teniendo en cuenta que en el año 2017 el equipo tuvo una falla, y hasta finales de 2018 con la actualización de los equipos de la RMCAB se retomó la medición de este contaminante en la estación. Por último, el SO₂ registra una disminución constante, recalcando el efecto visto por otros contaminantes en los que las fuentes cercanas están teniendo cada vez menos impacto sobre la estación.

5.8 Ferias

La estación de Ferias está ubicada cercana a vías principales por lo que es considerada una estación de tráfico. Aun así, el punto donde se ubica no tiene un alto flujo vehicular por lo que las concentraciones no tienden a aumentar significativamente. La Figura 15 muestra el resumen del comportamiento histórico de los registros de contaminantes en la estación.



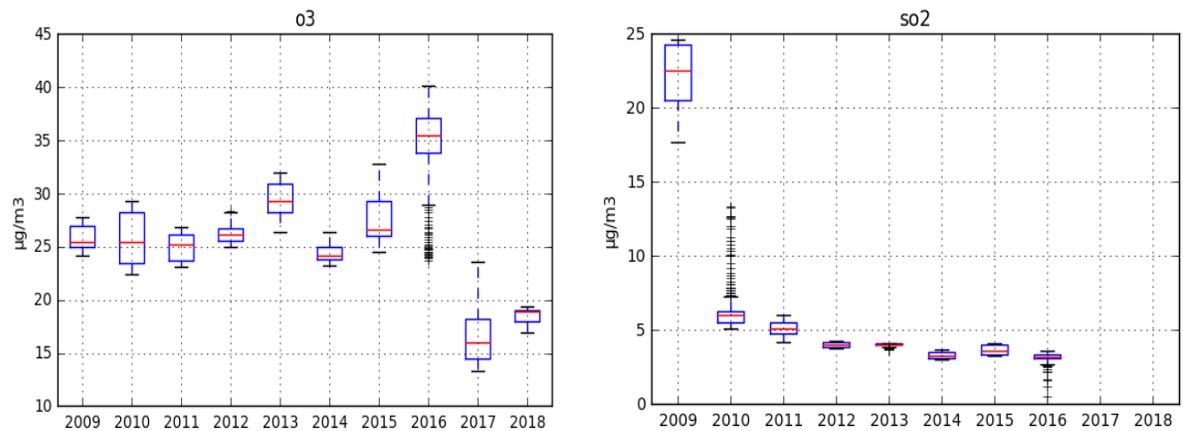


Figura 15 Comportamiento histórico de los contaminantes PM_{10} , $PM_{2.5}$, CO , NO_2 , O_3 y SO_2 durante el periodo de 2008 al primer semestre de 2018 en la estación Ferias.

El PM_{10} registra tendencia a la disminución pasando de $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A diferencia de otras estaciones evaluadas, las mediciones reflejan un resultado estable con baja variabilidad en los datos. En cuanto a $PM_{2.5}$, no se registra un cambio considerable, ni una tendencia clara. Se registran diferencias en dos periodos, del 2008 al 2013, en donde se registra tendencia a disminuir la concentración y a partir de 2014 al 2018 en donde se observa un incremento en las concentraciones registradas, manteniendo el comportamiento anterior.

Las concentraciones de CO registran un comportamiento similar a otras estaciones. Se observa una marcada disminución hasta el año 2015 para luego volver a presentar una tendencia al incremento. Por otro lado, el NO_2 muestra una tendencia al aumento continuo de concentración. Analizando los dos contaminantes en conjunto, puede que se esté presentando un aumento de circulación de vehículos diésel de carga pesada en la zona, que estén influenciando las concentraciones de gases.

El ozono, registra una medición estable a lo largo de todo el registro exceptuando los dos últimos años, en donde se presenta una disminución considerable en la concentración respecto a los años anteriores. Por último, el SO_2 , registra una tendencia a la baja hasta el año 2016 en que se detiene la medición del parámetro en la estación al dar de baja el equipo.

5.9 Suba

La estación de Suba está ubicada sobre la clínica Corpas. Está clasificada como una estación de fondo debido a la ausencia de fuentes significativas en sus cercanías. En la estación se mantiene registro de material particulado, ozono y dióxido de azufre. La Figura 16 presenta el resumen de los registros obtenidos en el periodo de estudio.

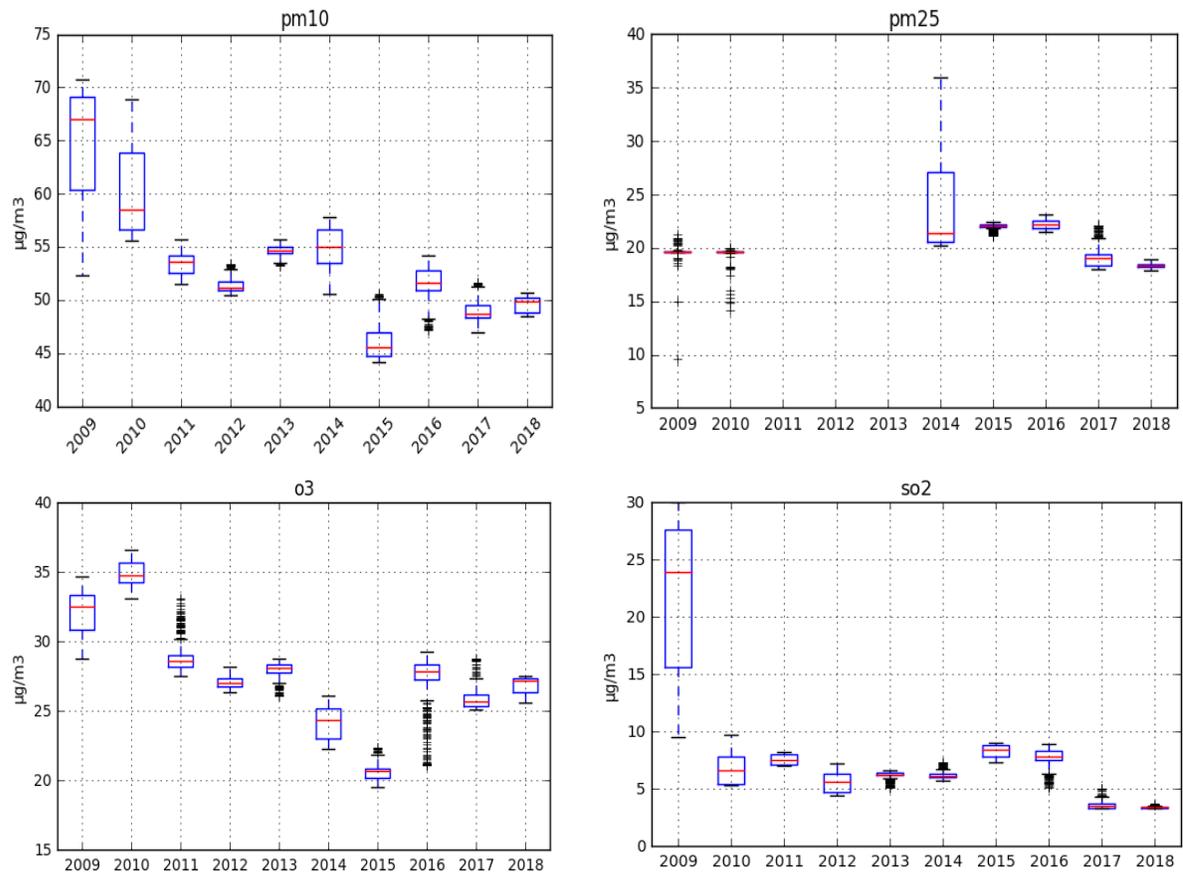


Figura 16 Comportamiento histórico de los contaminantes PM_{10} , $PM_{2.5}$, O_3 y SO_2 durante el periodo de 2008 al primer semestre de 2018 en la estación Suba.

El PM_{10} registra una tendencia a la disminución, pasando de $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Aunque está clasificada como una estación de fondo, al analizar la información, se registran concentraciones mayores a las esperadas en una estación de este tipo. Estas concentraciones se atribuyen a transporte de contaminantes. El $PM_{2.5}$, presenta un leve descenso en las concentraciones registradas en los últimos dos años, aun así, debido al corto tiempo de medición de los equipos no puede considerarse una tendencia de disminución.

El ozono registra un comportamiento estable, variando un poco cada año pero manteniendo la concentración entre 25 y $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La zona norte de la ciudad tiende a tener los registros de mayor concentración de ozono. En cuanto al SO_2 , se registra un comportamiento estable luego del cambio de combustibles en el 2010. Las concentraciones registradas son similares a otros lugares de la ciudad en donde no se tiene registro de fuentes fijas.

5.10 Usaquén

La estación Usaquén está ubicada en la terraza de la Universidad del Bosque. Aunque originalmente está clasificada como una estación de fondo, existen vías con bajo nivel de tráfico en las cercanías de la estación que pueden llegar a influenciarla, por lo tanto, en este documento de rediseño se reclasifica como estación de tráfico. La Figura 17 resume el comportamiento de los contaminantes monitoreados en la estación durante el periodo evaluado.

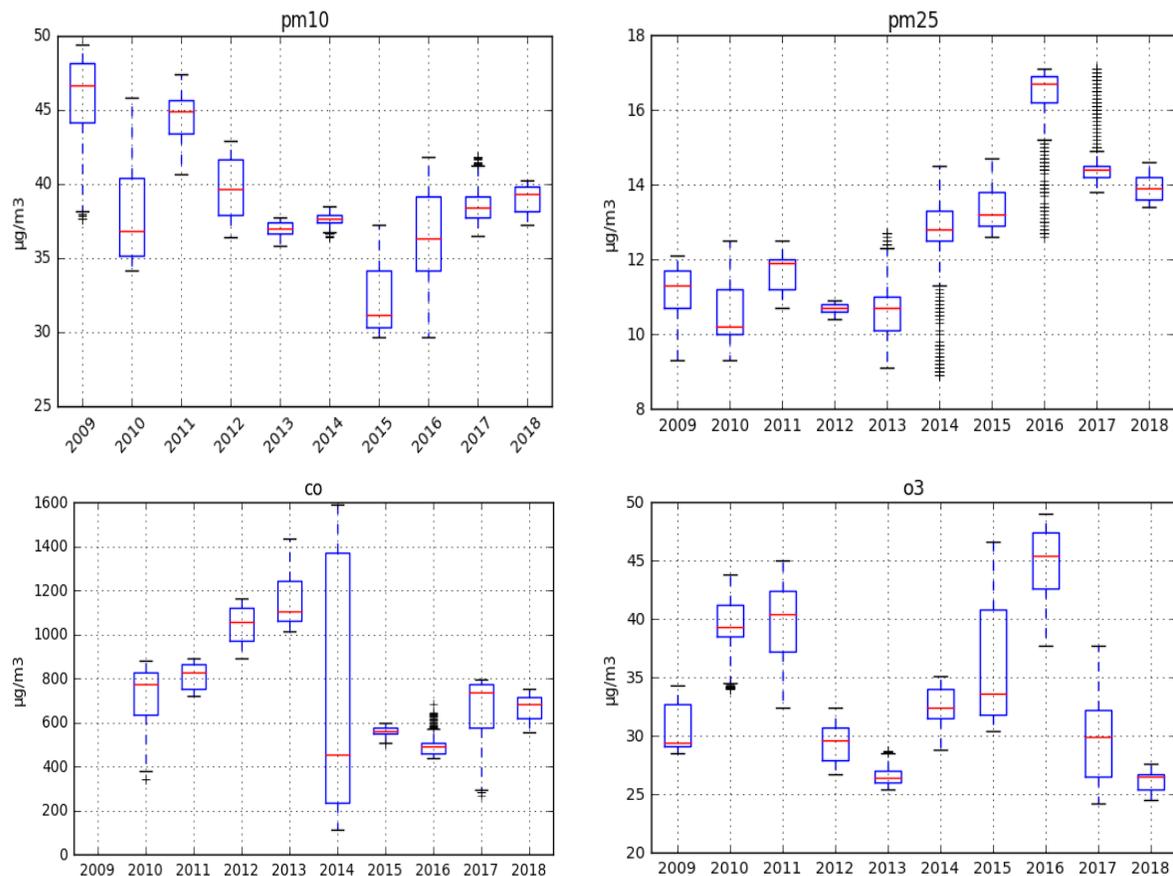


Figura 17 Comportamiento histórico de los contaminantes PM₁₀, PM_{2.5}, O₃ y CO durante el periodo de 2008 al primer semestre de 2018 en la estación Usaquén.

El PM₁₀ registra tendencia a la disminución de la concentración similar a la observada en las demás estaciones, se pasa de una concentración de 47 µg/m³ a 39 µg/m³. Aunque en general tiende a la baja, los últimos tres años muestran leves incrementos en los datos registrados, lo que puede estar mostrando un futuro problema en la zona.

En cuanto a PM_{2.5}, registra tendencia al incremento de concentración. Al analizar el comportamiento de los dos diámetros de material particulado puede observarse una tendencia conjunta, y es posible que los dos estén influenciados por el mismo fenómeno.

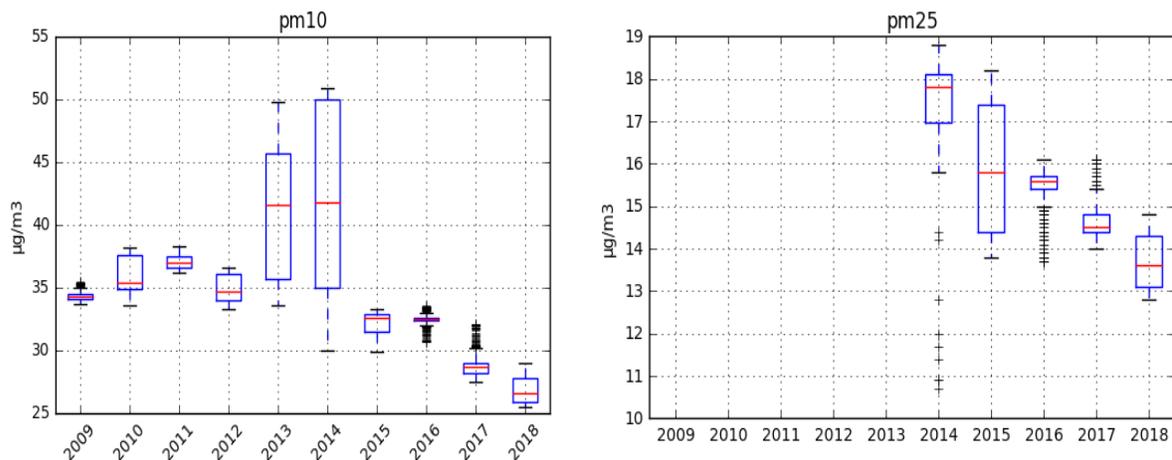
Aunque los registros de concentración actualmente son relativamente bajos comparados con otras estaciones de la ciudad, una tendencia de este tipo puede generar impactos negativos en el futuro.

En cuanto a CO, se pueden dividir los registros en dos partes, la primera hasta el año 2014, y la segunda del 2015 al 2018. La primera parte de los registros presenta concentraciones de bajas a moderadas en la zona con un incremento continuo hasta el 2014. A partir de ese año las concentraciones registradas son bajas, siendo la estación con la menor concentración de CO en la ciudad.

Por último, el ozono registra variabilidad considerable a lo largo del periodo evaluado, aunque no se ve una tendencia como tal, cabe resaltar que la estación de Usaquén se ha caracterizado por tener las mayores concentraciones de ozono en la ciudad. Estos picos de ozono usualmente se registran en horas de la noche o madrugada.

5.11 Guaymaral

La estación Guaymaral está ubicada en la escuela de Ingeniería Julio Garavito, a las afueras de la ciudad en la zona norte. Esta estación está clasificada como una estación de tráfico por su cercanía con la autopista norte. La Figura 18 presenta la información de las concentraciones registradas en la estación.



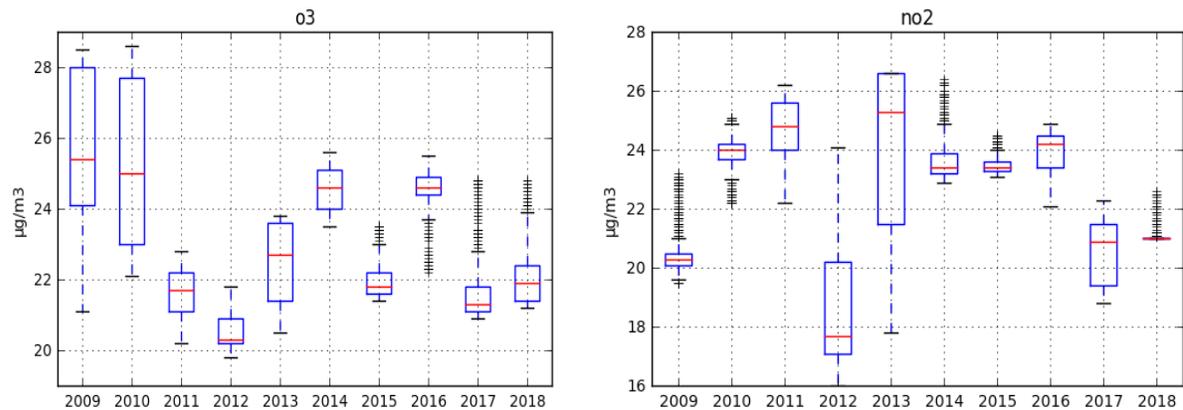


Figura 18 Comportamiento histórico de los contaminantes PM_{10} , $PM_{2.5}$, O_3 y NO_2 durante el periodo de 2008 al primer semestre de 2018 en la estación Guaymaral.

El PM_{10} tiende a disminuir a partir del año 2015 llegando a una concentración de $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El $PM_{2.5}$ registra un comportamiento similar al observado en PM_{10} , aclarando que la estación conto con monitor de partículas $PM_{2.5}$ a partir del año 2014.

En cuanto al ozono, la concentración registrada se ha mantenido oscilando entre los $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y los $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A diferencia de la estación de Usaquén, en esta estación no se registran el mismo número de eventos de picos de concentración en horas de la noche. Por último, el NO_2 ha variado bastante en el periodo evaluado, pero en los últimos 3 años registra disminución en las concentraciones. Aun así, la variación es baja y el rango de concentración en el registro usualmente esta entre los 20 y los $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

5.12 Fontibón

La estación Fontibón estuvo catalogada como una estación de mixta por su cercanía a la Calle 13 y a algunas fuentes fijas cercanas a la estación. La estación dejo de operar en el año 2014 debido a que el lugar donde se ubicaba dejo de cumplir con las condiciones de servicio eléctrico y seguridad. Actualmente se han finalizado los procesos administrativos para la reubicación de la estación y se espera su puesta en operación a finales del año 2018 o principios del 2019. La Figura 19 presenta la información de las concentraciones registradas en la estación desde el 2008 hasta el 2014.

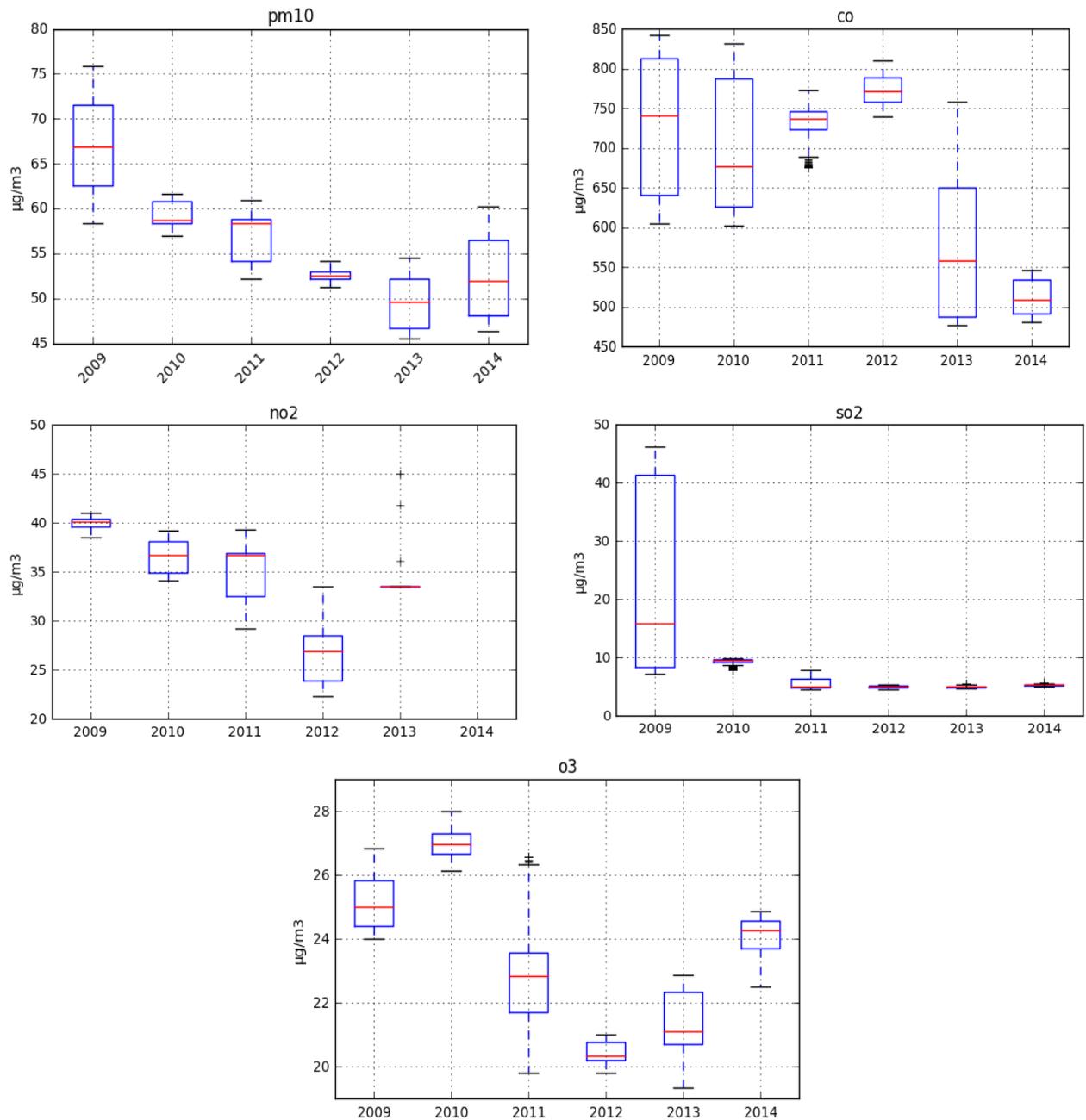


Figura 19 Comportamiento histórico de los contaminantes PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, CO , O_3 y SO_2 durante el periodo de 2008 al 2014 en la estación Fontibón.

El PM_{10} muestra tendencia a la baja durante el periodo evaluado. Aunque se observe disminución es de notar que en los últimos años se registraron aumentos en ciertos periodos de tiempo. Esto puede relacionarse a eventos de contaminación que se presentaron en la época. Debido a que la estación dejó de funcionar en el 2014 no tiene mediciones de $\text{PM}_{2.5}$.

Por otro lado, El CO se muestra estable en los primeros años y luego registra una disminución de concentración en los años 2013 y 2014.

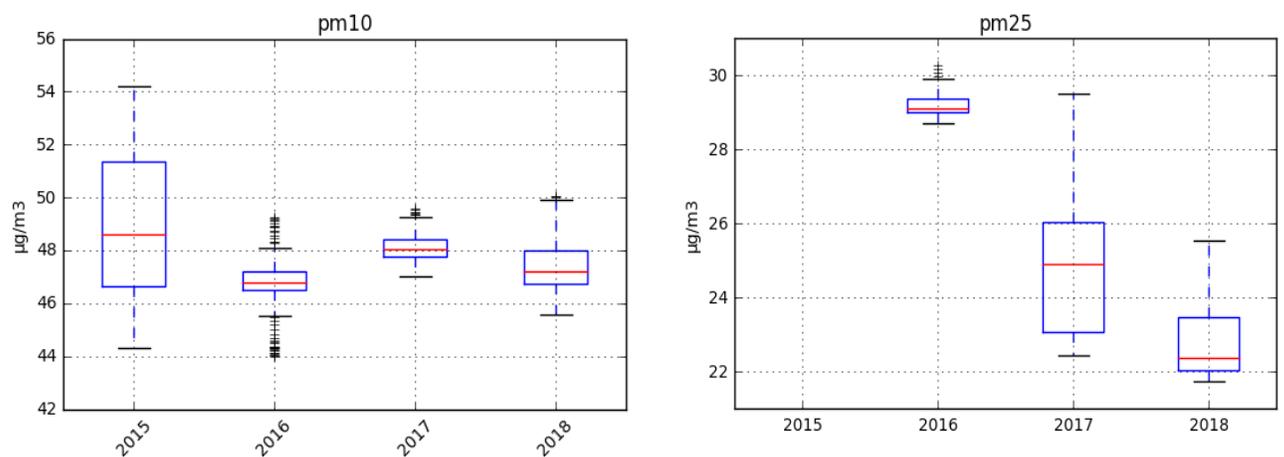
En cuanto a NO₂ se puede observar que desde el 2009 hasta el 2012 se registró tendencia a la baja, aun así, es posible que con el aumento de la flota vehicular y el transporte de carga en la zona estos valores hayan incrementado en los últimos años.

El SO₂ al igual que en otras estaciones, registra disminución considerable luego del año 2009. Como se mencionó antes este cambio se justifica con la modificación de la composición del combustible en la ciudad.

Por último, el O₃ registra una variación entre 21 y 27 µg/m³, debido a los cambios representados en la gráfica no se puede establecer una tendencia clara de la información registrada.

5.13 Estación Móvil

La estación Móvil, es una estación diseñada con el fin de ser reubicada fácilmente sin los problemas logísticos que pueda generar una estación fija. El objetivo inicial de incorporar la estación móvil a la RMCAB fue evaluar la viabilidad de utilizar estaciones móviles para realizar monitorio de calidad del aire en vías en conjunto con el IDEAM y Transmilenio S.A. Debido a que se realizó medición de contaminantes en diferentes puntos en este informe solo se incluye la información del último punto de muestreo ubicado en la carrera 7ma con calle 60. La Figura 20 resume el comportamiento durante el periodo de 2014 a 2018 en la estación.



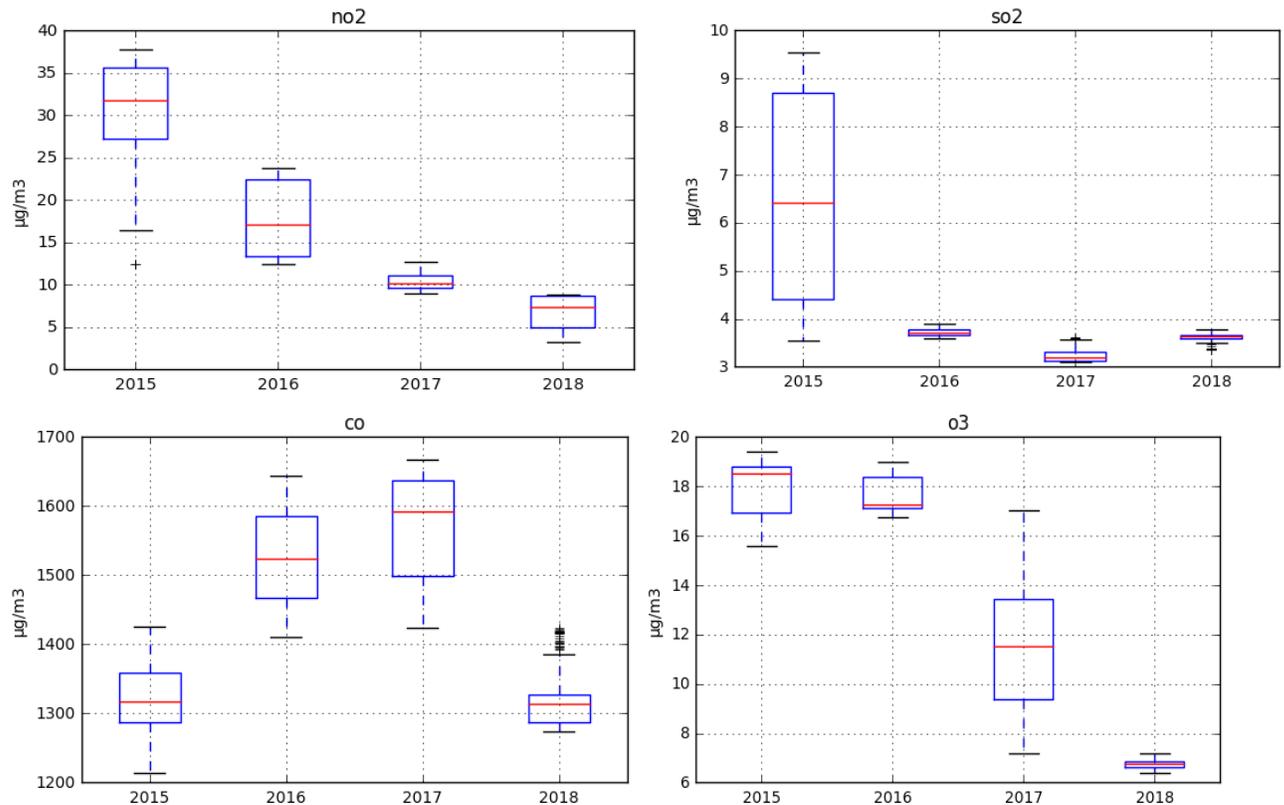


Figura 20 Comportamiento histórico de los contaminantes PM₁₀, PM_{2.5}, CO, NO₂, O₃, y SO₂ durante el periodo de 2008 al primer semestre de 2018 en la estación Móvil.

El PM₁₀ registrado muestra estabilidad en la medida con concentraciones entre 47 y 49 µg/m³. Por otro lado, el PM_{2.5} aunque empezó su operación en 2016 registra tendencia a la baja en los últimos 3 años.

En cuanto al CO, se muestra un comportamiento variable, sin una tendencia fija si se tiene en cuenta los registros del último año. Al descartar estos registros se observa tendencia al aumento de concentración, posiblemente relacionado al aumento de actividad de flota vehicular.

El NO₂ y el O₃ tienen un comportamiento similar, mostrando una tendencia marcada a la disminución de concentración. Aun así, estos datos deben evaluarse con cuidado debido a que posiblemente, la cercanía a las fuentes móviles y a la estación de servicio este afectando de algún modo las mediciones. Para evaluar este comportamiento se han utilizado diferentes analizadores de NO_x y O₃, todos mostrando el mismo resultado. Posiblemente la emisión cercana de VOC por parte de la estación de servicio altere el resultado de la medición o de la concentración en el punto de medición.

Por último, el SO₂ registra disminución considerable a partir del año 2015 para luego mantener un registro estable de concentración de entre 3 y 4 µg/m³.

6. COBERTURA ACTUAL DE LA RMCAB.

La cobertura de la RMCAB hacer referencia a la determinación de la representatividad espacial que tiene cada una de las estaciones, a continuación, se presentan los antecedentes y la descripción de los métodos para su estimación.

6.1 Antecedentes

En el año 2013, el Ingeniero Óscar Guerrero elaboró un proyecto de investigación con el fin de establecer un método para determinar la representatividad espacial de las estaciones de la RMCAB presentes en el año 2011. Se evaluaron dos enfoques, el primero se basó en un método de probabilidad considerando las mediciones de la RMCAB en el periodo de 1997 a 2010, y el segundo se basó en un modelo de predicción del tiempo y en un modelo estocástico lagrangiano para estimar las huellas de influencia de contaminantes en temporadas climáticas específicas.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observó que las estaciones que registran comportamientos meteorológicos similares registran datos mutuos, es decir que los registros de contaminantes tienen un comportamiento similar. Esta similitud fue más notable en las estaciones del centro de la ciudad, por lo que la cobertura de medición es mejor en esta zona, lo cual fue confirmado con el modelo lagrangiano, dado que la cercanía entre las estaciones y las condiciones similares del terreno permiten que los datos registrados tengan un comportamiento similar. Sin embargo, se observa que en las estaciones del sector occidental y las del sector oriental, los parámetros de velocidad y dirección del viento se comportan de manera similar en cada uno de ellos de acuerdo a su ubicación.

En adición, se halló que la variabilidad en el comportamiento de los parámetros meteorológicos genera una variación notable en la definición de las áreas de cobertura de las estaciones. El constante cambio en la velocidad y dirección del viento hace que las huellas de influencia cambien en el tiempo, por lo cual la influencia en la concentración por parte de fuentes de emisión cercanas a la estación puede no ser registrada en ciertos momentos.

Otro aspecto notable hallado a partir del modelo, es que las estaciones Usaqué, Suba y Usme para el periodo de tiempo analizado se encontraban ubicadas en zonas en las cuales no contribuía a la medición de la calidad del aire en zonas críticas de densidad poblacional, sin embargo, esta afirmación es válida solamente para los escenarios simulados.

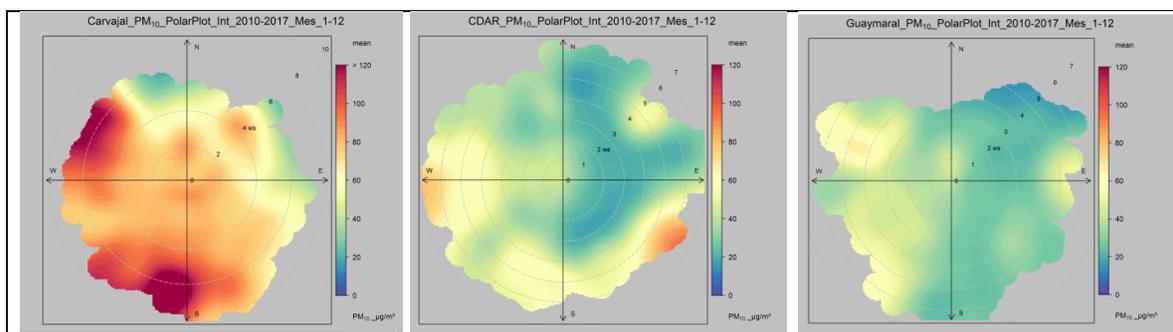
6.2 Método de estimación de la cobertura de la RMCAB

Con el fin de determinar el área de cobertura de cada estación de monitoreo de la RMCAB, se realizó un análisis teniendo en cuenta la velocidad y dirección del viento registrados en la estación, para evaluar la variación espacial en los registros de contaminantes en cada estación.

Para ello, se consideró evaluar las concentraciones de PM_{10} , debido a que es el contaminante que se ha monitoreado por más tiempo en todas las estaciones, por lo cual tiene una representatividad temporal más completa en comparación a los demás contaminantes. Además se incluyó en el análisis la información registrada de velocidad y dirección del viento, en resolución diezminutal, con el fin de evaluar en la menor escala temporal posible la variación en dirección y velocidad del tiempo de la concentración registrada.

Se evaluaron los datos registrados durante los años 2010 a 2017, por las 11 estaciones fijas de la RMCAB. A partir de esta información, se elaboraron los gráficos tipo Polar Plot, los cuales permiten representar las tres variables en un solo diagrama (concentración de PM_{10} , velocidad y dirección del viento) basado en un plano cartesiano, con lo cual el viento se representa como un vector con la velocidad como magnitud, y la escala de colores indica la concentración de PM_{10} en dicha velocidad y dirección del viento. A partir de ello se pueden observar la predominancia de las direcciones del viento en las que registran mayores concentraciones. En la Figura 21 se observan los Polar Plot obtenidos para cada estación de monitoreo.

Cabe resaltar que en estos gráficos se muestra el alcance máximo de medición de cada estación, sujeto a los valores más altos de velocidad del viento, por lo cual cuando se registran velocidades más bajas el área de cobertura puede ser menor.



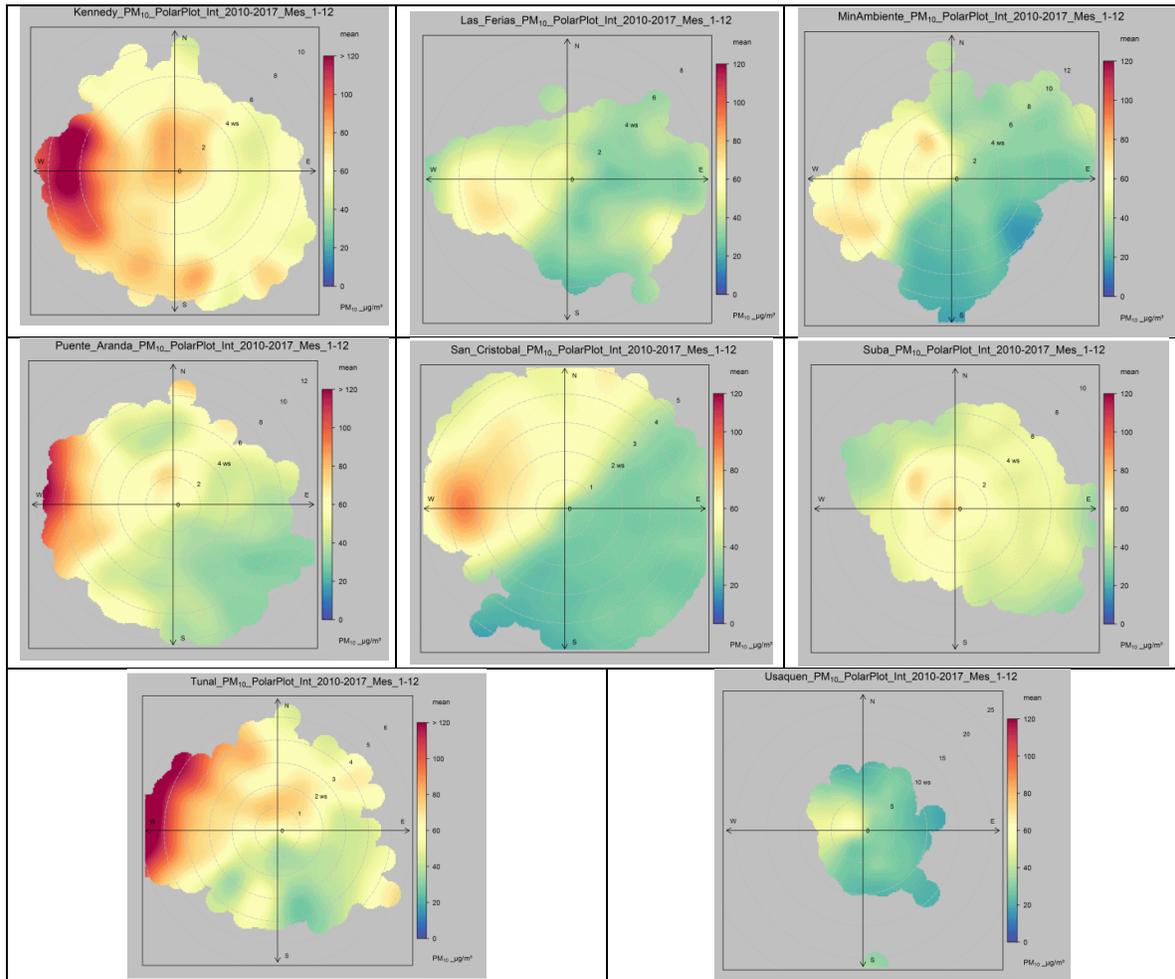


Figura 21. Polar plot por estación con base en concentraciones de PM₁₀. Años 2010 - 2017

Posteriormente, se realizó una superposición de dichos gráficos sobre el mapa de Bogotá, teniendo en cuenta la ubicación de cada estación, con lo cual se observó que las estaciones del occidente de la ciudad presentan las velocidades más altas, y por ende tienen un alcance máximo más alto que las demás estaciones. Adicionalmente, se realizó una delimitación de las áreas teniendo en cuenta los límites de las UPZ de la ciudad, para establecer zonas específicas de cobertura; también se realizó una asociación de las estaciones por grupos (clusters), de acuerdo con el comportamiento de los contaminantes y del viento en cada zona de la ciudad.

De este modo fue posible identificar las áreas que no contaban con cobertura de las estaciones, las cuales se visualizan en color gris en la Figura 22. Dichas áreas corresponden al extremo norte de la ciudad entre las localidades de Suba y Usaquén, la zona centro-occidente de la ciudad de las localidades Engativá y Fontibón, el área occidental de la



Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB

localidad de Bosa, y parte del sur de la ciudad, que incluye Ciudad Bolívar y la región urbana de la localidad de Usme.

Se observa además que el área que tiene mayor cobertura es el área de la influencia de la estación Carvajal – Sevillana, ya que se superponen los gráficos con las estaciones Kennedy y Tunal, lo que indica que estas estaciones tienden a registrar comportamientos similares de PM_{10} , siempre y cuando haya condiciones similares de dirección del viento, el cual predomina del occidente y suroccidente cuando hay incrementos en las concentraciones de PM_{10} .

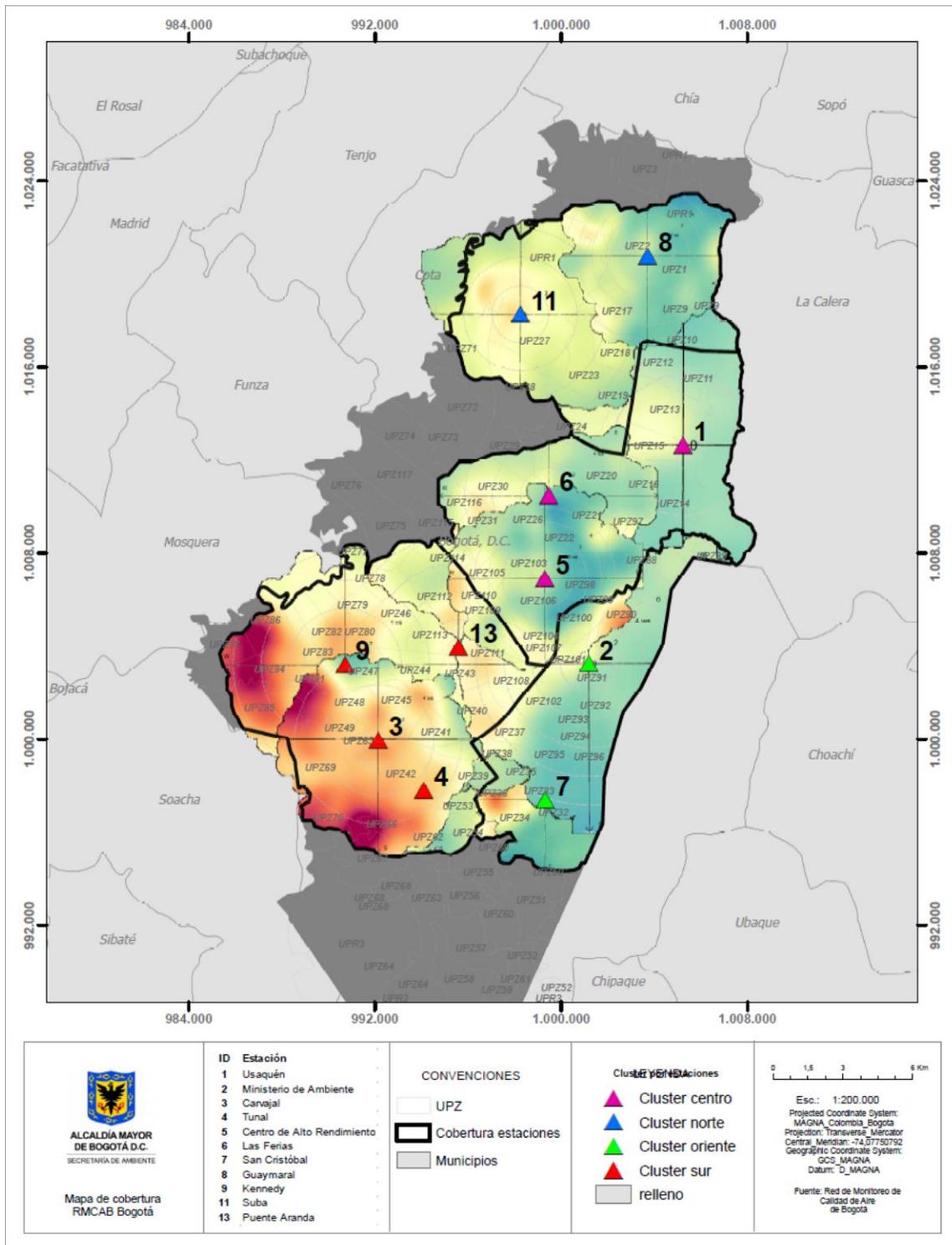


Figura 22. Mapa de cobertura de las estaciones de la RMCAB

De acuerdo con el análisis realizado de las áreas sin cobertura en la RMCAB, se consideran las siguientes zonas para la instalación de nuevas estaciones de monitoreo:

- Fontibón: para aumentar la cobertura de monitoreo al occidente de la ciudad, teniendo en cuenta el aporte de material particulado por las fuentes móviles y por resuspensión en corredores viales como la calle 13 y la avenida Cali. Adicionalmente, para retomar el monitoreo que se había realizado en la localidad hasta el 2014, ya que la edificación en la que anteriormente se ubicaba la estación fue desmantelada.
- Bosa: dado que se ha identificado de acuerdo con los registros históricos de las concentraciones que la zona suroccidental de la ciudad es la que ha presentado las concentraciones más altas de material particulado, por lo cual se hace pertinente instalar una estación en la zona más occidental de la ciudad, para evaluar la influencia de aportes de contaminación desde afuera del área urbana de la ciudad y la presencia de material resuspendido en la zona.
- Usme: debido a que la cobertura en la zona sur de la ciudad es baja, y que las condiciones del terreno y de la atmósfera son diferentes a las presentes en las áreas de influencia de las estaciones Tunal y San Cristóbal, se hace necesario instalar una estación de monitoreo en el área urbana de esta localidad. Adicionalmente, es una zona de alta densidad poblacional, por lo que el monitoreo de la calidad del aire permite conocer el comportamiento del material particulado en esta zona, y determinar los posibles efectos a la salud para la población.

6.3 Inclusión de nuevos parámetros en las estaciones

Para la evaluación de la necesidad de nuevos parámetros a incluir en el rediseño de la RMCAB, se contempla lo establecido en la resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la cual estipula que: *“Las autoridades Ambientales competentes que de acuerdo con las actividades que se desarrollen en el área de su jurisdicción, cuenten con evidencias de generación de emisiones de alguno o varios de los contaminantes tóxicos de que trata este artículo en áreas pobladas, deberán realizar una campaña de monitoreo preliminar conformidad con lo establecido en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire. Si realizada dicha campaña se detectan valores que superen los niveles máximos permisibles establecidos en la tabla, se deberá implementar su monitoreo permanente.”*

Al momento de la elaboración de este documento no se han realizado las campañas de medición necesarias para la caracterización de los contaminantes expuestos en la norma. Es recomendable la instalación de monitores de alguno de los contaminantes tóxicos. La selección e implementación de los monitores está regida por una ruta de identificación compuesta de la siguiente manera:



Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB

1. **Identificación de las posibles fuentes contaminantes de los compuestos tóxicos.** Esta identificación se basa en la información disponible para la Secretaría Distrital de Ambiente, en donde se tiene registro de la mayoría de las fuentes contaminantes de la ciudad, así como los tipos de combustible. Además, se tiene registros de estaciones de servicio y centros de almacenamiento.
2. **Selección de contaminantes y puntos de monitoreo.** Con base en los resultados de la identificación se procede a la selección de que contaminantes requieren de la realización de campañas y en qué puntos específicamente sería provechoso realizarlas.
3. **Adquisición e implementación del monitor.** Una vez se identifique la necesidad de la adquisición de un monitor para un contaminante específico se procederá a realizar el correspondiente proceso para su compra e implementación y acople a la RMCAB.
4. **Reporte de resultados.** Dependiendo el contaminante evaluado se incluirá en los respectivos documentos para informar a la comunidad sobre el estado de la calidad del aire respecto a estos contaminantes tóxicos.

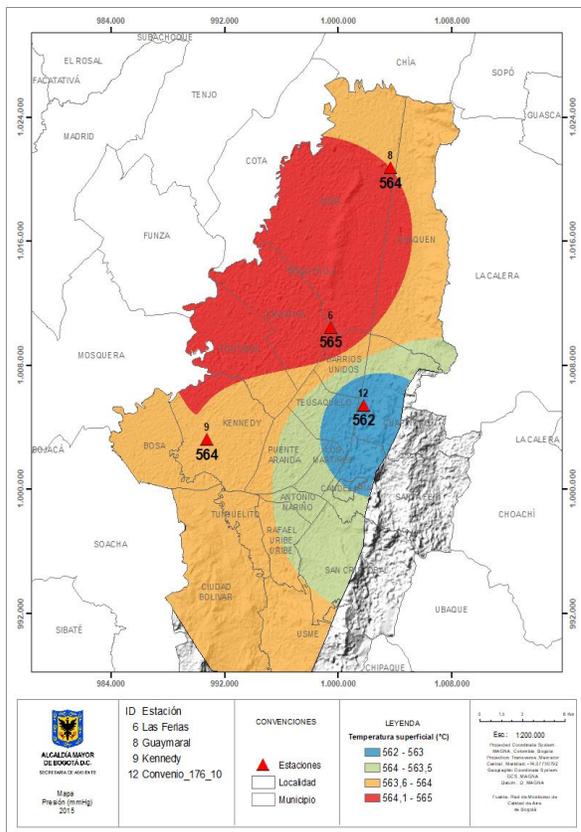
Por otro lado, la RMCAB en conjunto con el grupo de Sistema de Alertas Tempranas de Bogotá –SATAB, realizó la adquisición e instalación de cinco equipos Aethalometros para el monitoreo automático de **black carbon y brown carbon**. Esta fracción del material particulado es especialmente importante debido a que está comprobado que es la parte que afecta directamente al sistema respiratorio por su composición y tamaño. Dentro de esta fracción se encuentran los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), dentro de los cuales se encuentran compuestos carcinogénicos en humanos como lo es el alfa benzopireno. Este equipo también facilita el análisis de los efectos de eventos atípicos como incendios e incluso puede ser utilizado para estudios de análisis de cambio climático en la zona.

6.4 Análisis de los parámetros meteorológicos.

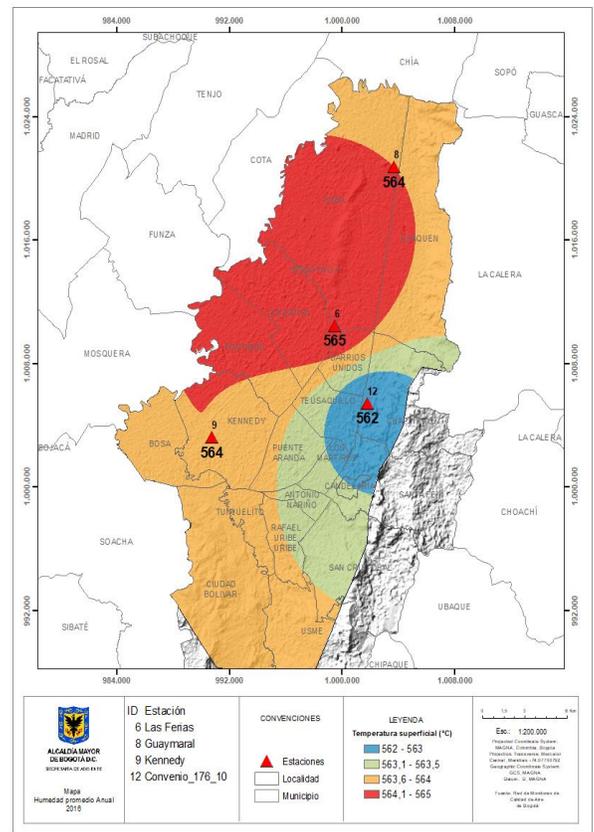
A continuación, se presentan algunas consideraciones para los parámetros meteorológicos como Presión, Humedad y Radiación Solar, los cuales se registran a lo largo y ancho del área urbana de la ciudad.

6.4.1 Presión Atmosférica

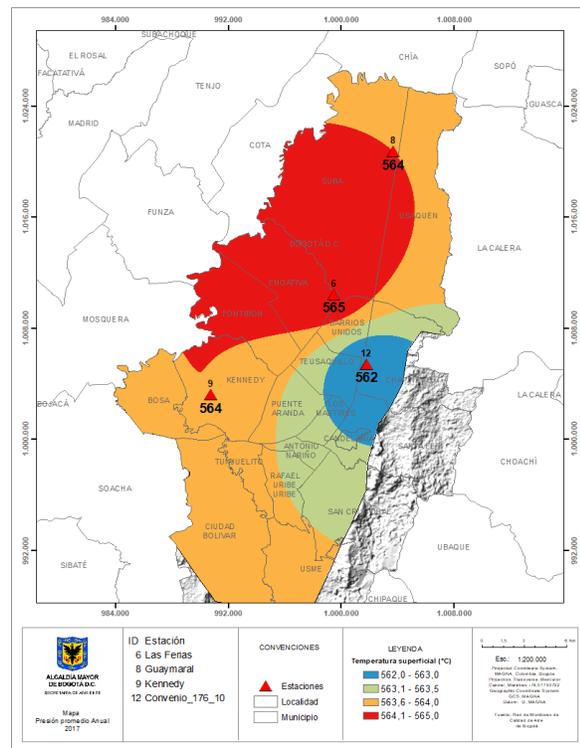
En la actualidad la RMCAB posee cuatro estaciones donde se mide el parámetro Presión atmosférica, distribuidas como se observa en los mapas de la Figura 23. De acuerdo con la distribución espacial y su variación por año, se observa que es una variable muy estable tanto espacial como temporalmente. Los mapas se construyeron para tres años seguidos (2015, 2016 y 2017).



2015



2016



2017

Figura 23 Mapa distribución espacial promedio anual de la presión atmosférica 2015 - 2017

Por otra parte, al observar el coeficiente de correlación de Pearson entre las estaciones, es notable que la variación entre ellas es muy mínima, lo que da cuenta de que la distribución de las estaciones como se encuentran actualmente es suficiente. Esta correlación incluyó datos desde 2010 hasta 2017, salvo la estación de Fontibón la cual tiene datos faltantes desde mediados de 2014 (Ver Tabla 10). En esta tabla se observa la correlación entre cada estación con sus homólogas. Es deducible que entre las más cercanas el coeficiente de correlación sea mayor, lo que da a entender que lo que se registra en una muy semejante a su homóloga. Por ejemplo, la correlación entre Fontibón, Guaymaral y Kennedy es muy alta. En tanto que la correlación entre la estación Móvil (Convenio) con Las Ferias, particularmente no refleja una alta correlación pese a su relativa cercanía con respecto a Fontibón. De lo anterior se deduce que es importante registrar valores de presión cerca de los cerros toda vez que estos tienen un comportamiento diferente a las otras estaciones.

Tabla 10 Coeficientes de correlación de Pearson entre estaciones que miden Presión Atmosférica

ESTACIÓN MÓVIL (Convenio-176)			
Fontibón	Guaymaral	Kennedy	Las Ferias
0,73	0,65	0,64	0,67
FONTIBÓN			
Convenio_176	Guaymaral	Kennedy	Las Ferias
0,73	0,95	0,94	0,95
GUAYMARAL			
Convenio_176	Fontibón	Kennedy	Las Ferias
0,65	0,95	0,91	0,90
KENNEDY			
Convenio_176	Fontibón	Guaymaral	Las Ferias
0,64	0,94	0,91	0,92
LAS FERIAS			
Convenio_176	Fontibón	Guaymaral	Kennedy
0,67	0,95	0,90	0,92

6.4.2 Humedad

El comportamiento de esta variable es igual al de la presión, sin embargo, su distribución puede ser modificada por la influencia de la de radiación entrante y el flujo de los vientos, así como el movimiento relativo de la Zona de Confluencia Intertropical. Por lo anterior, este parámetro muestra mayor grado de variabilidad espacial y temporal que la presión.

Es importante mantener la estación Bolivia, que por el momento el sensor se encuentra en monitoreo activo, la cual le daría una mejor descripción del comportamiento espacial de la humedad toda vez que su coeficiente de correlación frente a las demás estaciones sugiere que no es tan estrecha, es decir, el comportamiento de la humedad no se distribuye idénticamente que los otros sectores de la ciudad.

Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB

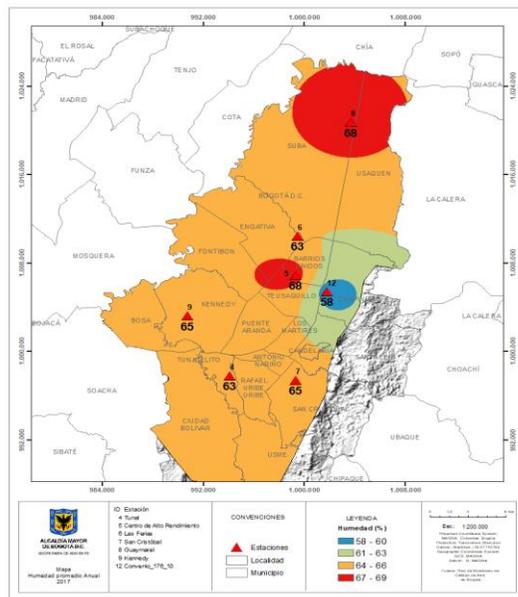
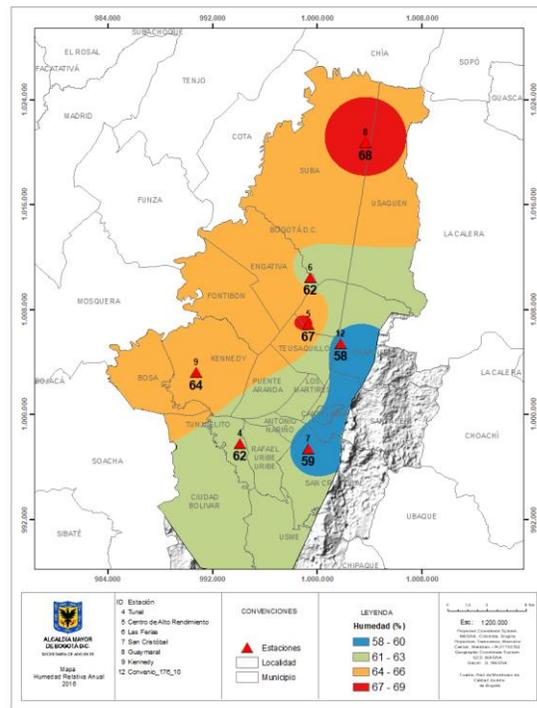
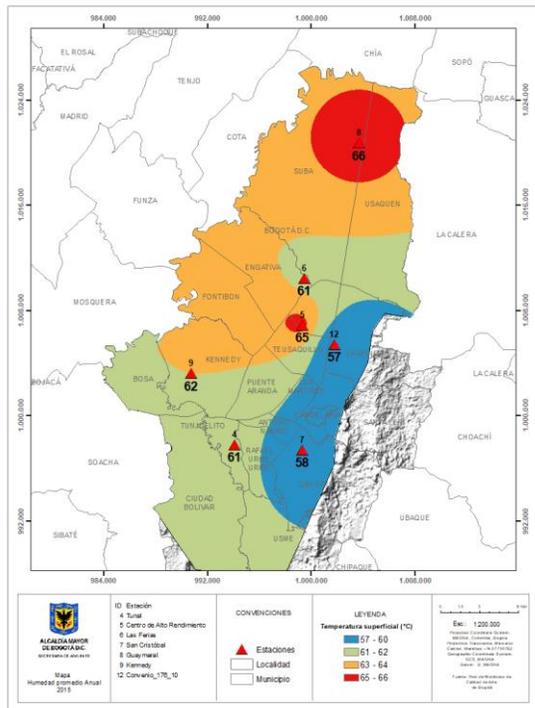


Figura 24 Mapa distribución espacial promedio anual de la humedad 2015 – 2017

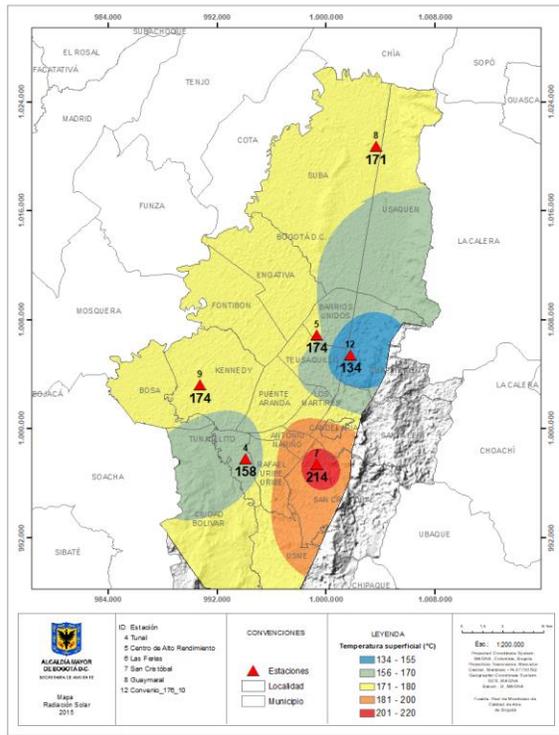
6.4.3 Radiación Solar

Respecto a la Radiación solar, los coeficientes de correlación de Pearson, permiten deducir que la cantidad de radiación que se recibe en la ciudad es muy homogénea y que las estaciones existentes, son suficientes para detectar las variaciones de la cantidad de radiación que se reciben tanto al sur como al norte y en el oriente como al occidente.

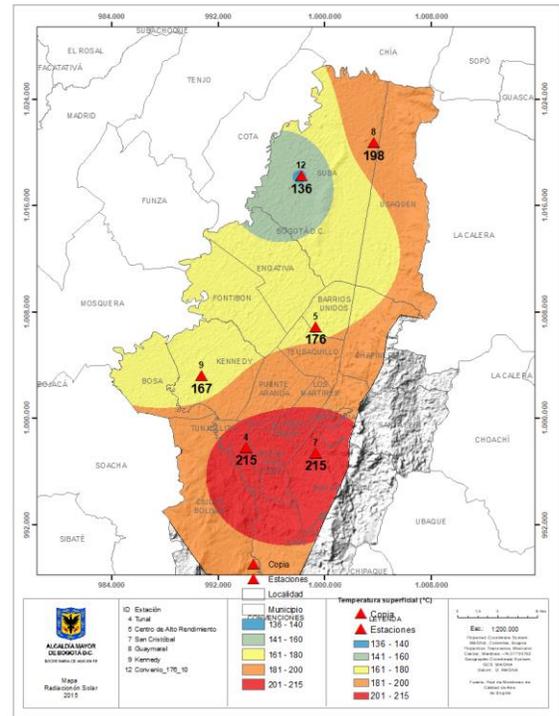
La relación entre cada una de ellas permite observar que la estación que presenta menor grado de correlación entre las demás estaciones es San Cristóbal, constituyéndose en una estación clave para la medición del comportamiento de la radiación solar en la ciudad. CDAR, Tunal y Convenio revelan una estrecha correlación, así como se deja apreciar entre Kennedy y Tunal (Ver Tabla 11)

Tabla 11. Coeficientes de correlación de Pearson entre estaciones que miden Radiación Solar

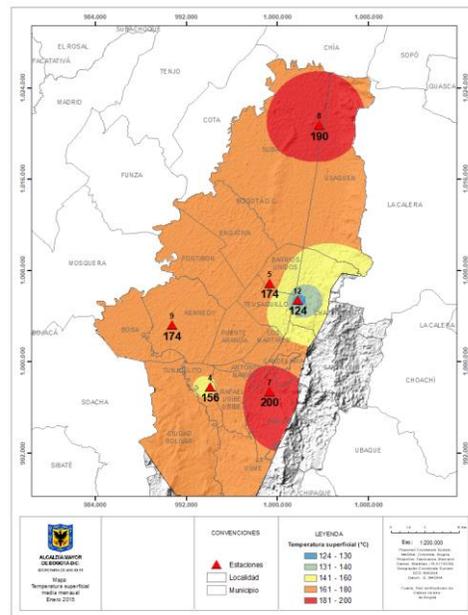
CDAR				
Convenio	Guaymaral	Kennedy	San Cristobal	Tunal
0,90	0,89	0,89	0,85	0,91
UNIDAD MÓVIL				
CDAR	Guaymaral	Kennedy	San Cristobal	Tunal
0,90	0,86	0,88	0,82	0,87
GUAYMARAL				
CDAR	Convenio_176_10	Kennedy	San Cristobal	Tunal
0,89	0,86	0,87	0,82	0,86
KENNEDY				
CDAR	Convenio_176_10	Guaymaral	San Cristobal	Tunal
0,89	0,88	0,87	0,84	0,91
SAN CRISTOBAL				
CDAR	Convenio_176_10	Guaymaral	Kennedy	Tunal
0,85	0,82	0,82	0,84	0,87
TUNAL				
CDAR	Convenio_176_10	Guaymaral	Kennedy	San Cristóbal
0,91	0,87	0,86	0,91	0,87



2015



2016



2017

Figura 25. Mapa distribución espacial promedio anual de la Radiación Solar 2015 - 2017

7. Recurso humano necesario para la operación de la RMCAB.

En la actualidad la RMCAB cuenta con personal que desempeña funciones técnicas y administrativas, los perfiles y las principales funciones se describen a continuación:

- **Coordinación técnica: (una persona en la actualidad)**

Perfil: Profesional con formación en ingeniería química o ingeniería ambiental o ingeniería ambiental y sanitaria, con experiencia de seis (6) años relacionada con calidad del aire.

- ✓ Elaborar y hacer seguimiento al plan de actividades para la operación y generación de información de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá
- ✓ Revisar los informes mensuales y/o anuales producidos por la RMCAB, aplicando el protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire expedido por el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial.
- ✓ Revisar los documentos generados a partir del análisis de la información obtenida en la RMCAB
- ✓ Ejercer actividades de apoyo a la supervisión y seguimiento a los convenios y/o contratos relacionados con la RMCAB
- ✓ Desarrollar las actividades que le sean asignadas, relacionadas con el sistema de gestión del laboratorio, basado en el cumplimiento de los requisitos de la NTC-ISO/IEC 17025.

- **Personal administrativo: (3 personas en la actualidad)**

Perfil: Profesional con formación en Química y/o Ingeniería Química y/o Ingeniería Ambiental y/o Ingeniería Electrónica y/o Ingeniería Ambiental y Sanitaria, sin experiencia.

- ✓ Apoyar la estructuración del componente técnico en los procesos de contratación de bienes y servicios requeridos para el funcionamiento de la RMCAB y la evaluación de los mismos.
- ✓ Apoyar las actividades de seguimiento a la ejecución de los contratos y/o convenios de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá- RMCAB hasta su liquidación e incluyendo la evaluación de proveedores entre otros.
- ✓ Apoyar los trámites y procedimientos administrativos de la Entidad y demás requerimientos necesarios para la correcta gestión de la operación de la RMCAB.
- ✓ Realizar y entregar el reporte mensual de trabajo no conforme de la RMCAB, con base en el procedimiento para el Aseguramiento de Calidad de los Resultados emitidos por el Laboratorio Ambiental SDA o el que haga sus veces.
- ✓ Apoyar en la consolidación, reporte y publicación de indicadores de gestión en la plataforma ISOLUCION y el Observatorio Ambiental de Bogotá -OAB



Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB

- ✓ Apoyar en la elaboración y consolidación de acciones de seguimiento para la implementación del plan de mejoramiento por procesos asociados a la RMCAB
- ✓ Mantener actualizada y unificada la base de datos del seguimiento y procesos a cargo de la RMCAB, así como proyectar y realizar el seguimiento al proceso de respuesta a cada uno de estos trámites.
- ✓ Desarrollar las actividades que le sean asignadas, relacionadas con el sistema de gestión del laboratorio, basado en el cumplimiento de los requisitos de la NTC-ISO/IEC 17025.

- **Personal Técnico (Analista de Información) (1 persona en la actualidad)**

Perfil: Profesional con formación en Química o Ingeniería Ambiental o Ingeniería Ambiental y Sanitaria con seis (6) meses de experiencia relacionada.

- ✓ Realizar informes de análisis con los datos procedentes de las estaciones de la red de monitoreo de calidad del aire de Bogotá (RMCAB) de forma periódica aplicando el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire expedido por el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial.
- ✓ Realizar informes especiales, atender PQRS y demás solicitudes realizadas por entidades públicas o privadas sobre la RMCAB
- ✓ Analizar y realizar el cálculo de los promedios, excedencias, índice de calidad del aire, tendencias históricas y entregar información sobre la calidad del aire al personal de la SDA que se determine por parte del supervisor.
- ✓ Organizar mensualmente informes, hojas de cálculo, respuesta a entidades entre otros en el servidor de la RMCAB.
- ✓ Desarrollar las actividades que le sean asignadas, relacionadas con el sistema de gestión del laboratorio, basado en el cumplimiento de los requisitos de la NTC-ISO/IEC 17025.

- **Personal Técnico (Validador) (1 persona en la actualidad)**

Perfil: Formación en Ingeniería Química o Ingeniería Ambiental o Ingeniería Ambiental y Sanitaria o Física o Química, con experiencia de seis (6) meses relacionada.

- ✓ Realizar la validación y análisis de los datos procedentes de las estaciones de la Red De Monitoreo De Calidad Del Aire De Bogotá.
- ✓ Mantener actualizada la página WEB de la RMCAB
- ✓ Revisar los datos reportados en los informes mensuales y/o anuales de la RMCAB
- ✓ Realizar el seguimiento de los software ENVISTA Y GESTOR o el que se emplee en la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá - RMCAB y reportar según el caso la



Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB

necesidad de ajustes y mejoras en las actividades de mantenimiento de dicho software y en el formato de Trabajo no conforme-TNC

- ✓ Desarrollar las actividades que le sean asignadas, relacionadas con el sistema de gestión del laboratorio, basado en el cumplimiento de los requisitos de la NTC-ISO/IEC 17025.

- **Personal Técnico (Meteorólogo) (1 persona en la actualidad)**

Perfil: Profesional en Ingeniería Química o Químico, Ingeniería Ambiental o Ingeniería Ambiental y Sanitaria y sus áreas afines con postgrado en ciencias atmosféricas y/o Meteorología con experiencia de cuatro (4) años

- ✓ Realizar informes de análisis con los datos meteorológicos de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá-RMCAB, incluyendo mapas de precipitación, temperatura, vientos, concentración de diferentes contaminantes y su relación con las variables meteorológicas y cualquier otro relacionado con los respectivos análisis, en alta resolución (Software ArcGIS)
- ✓ Organizar mensualmente informes, hojas de cálculo, respuesta a entidades entre otros en el servidor de la RMCAB.
- ✓ Desarrollar las actividades que le sean asignadas, relacionadas con el sistema de gestión del laboratorio, basado en el cumplimiento de los requisitos de la NTC-ISO/IEC 17025.

- **Personal Técnico de Campo (4 personas en la actualidad)**

Perfil: Formación en Ingeniería Electrónica y/o Ingeniería en Instrumentación y Control y/o Ingeniero Ambiental y/o Ingeniero Químico con experiencia de cuatro (4) años, relacionada con calidad del aire.

- ✓ Realizar la correcta operación y mantenimiento de los equipos de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá-RMCAB.
- ✓ Realizar y registrar el cálculo de porcentaje de eficiencia para la conversión NO₂ de los equipos de monitoreo de gases de la RMCAB y consolidar en el servidor de la RMCAB.
- ✓ Actualizar en el software GESTOR el inventario de equipos y elementos que forman parte de cada una de las estaciones de monitoreo de calidad del aire y meteorología que hacen parte de la RMCAB e informar acerca de estas necesidades de compra.
- ✓ Realizar la calibración, verificación y ajuste de equipos de la RMCAB, siguiendo los procedimientos de la SDA y de la RMCAB y el programa de mantenimiento preventivo y correctivo del software GESTOR. La información deberá ser registrada en la bitácora de cada estación, además de dar soporte al personal de oficina cuando sea solicitado.

- ✓ Elaborar los conceptos técnicos para dar baja a sensores y equipos que no puedan ser reparados o hayan cumplido su ciclo de vida útil y entregar dicha información a la persona encargada.
 - ✓ Desarrollar las actividades que le sean asignadas, relacionadas con el sistema de gestión del laboratorio, basado en el cumplimiento de los requisitos de la NTC-ISO/IEC 17025.
 - ✓ Realizar y registrar el cálculo de porcentaje de eficiencia para la conversión de NO₂ de los equipos de monitoreo de gases de la RMCAB y consolidar en el servidor de la RMCAB.
 - ✓ Consolidar mensualmente en el servidor de la RMCAB los registros de las calibraciones multipunto
 - ✓ Realizar el cálculo de incertidumbre y tiempos residencia de los equipos de monitoreo de contaminantes de la RMCAB y consolidar la información en el servidor de la RMCAB mensualmente
 - ✓ Reportar y mantener actualizado el inventario de las estaciones en cuanto a equipos insumos repuestos y accesorios de las estaciones que hacen parte de la RMCAB e informar oportunamente y por escrito acerca de las necesidades para la correcta operación de la RMCAB
 - ✓ Calcular mensualmente el costo por actividad de mantenimiento y estación de monitoreo asociado a consumibles y repuestos y reportar según el caso la necesidad de ajustes y mejoras en las actividades de mantenimiento
- **Coordinador de trabajo en Alturas (1 persona en la actualidad)**

Perfil: Formación técnica en las ramas de la ingeniería, que cuente con Certificado en la norma de competencia laboral vigente para trabajo en alturas de acuerdo con lo establecido en la Resolución 1409 de 2012 artículo 15.

- ✓ Monitorear el desarrollo de trabajo seguro en altura según los protocolos establecidos por la SDA desarrollados en los lugares destinados por la Red de Monitoreo de Calidad del Aire.
- ✓ Elaborar, estructurar e implementar para aprobación y adopción de la SDA los procedimientos para el trabajo en alturas, determinando los equipos de protección individual contra caídas, el cual debe considerar el mantenimiento o disposición final de los componentes del sistema de protección contra caídas individuales, colectivas, sistemas de acceso para trabajo en alturas y la socialización de estos.
- ✓ Diligenciar los registros de las actividades y tareas de trabajo en alturas de acuerdo con el sistema documental solicitado.

8. Recursos de equipos e insumos para la operación de la RMCAB

La correcta operación de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá requiere la disponibilidad de recursos económicos, a continuación, se describen los costos asociados.

8.1 Costos de inversión inicial o modernización

Los costos iniciales de instalación o modernización y las condiciones técnicas de componentes para la operación de una estación de monitoreo de calidad del aire se describen en la Tabla 12.

Tabla 12 Costos y especificaciones técnicas operación RMCAB

COMPONENTE	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	JUSTIFICACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO	COSTOS (2018)
EQUIPO PARA LA MEDICIÓN DE MATERIAL PARTICULADO PM10	<p>CARACTERISTICAS TECNICAS ESPECÍFICAS.</p> <p>Principio de operación: Atenuación de rayos BETA o Light scattering at single particle (Dispersión de luz partícula única) Designaciones U.S. EPA Resolución de la medida: $\leq \pm 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Rango: 0 - 3000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Intervalo de almacenamiento de medición: 5 minutos Comprobación de span: Automática Salida análoga: 0-1, 0-10v puesto RS 232 opcional Ethernet, puerto USB. Printer Output: Puerto de diagnóstico Informes de error: Informe de errores y diagnóstico del equipo Fuente de alimentación eléctrica: 110 - 120 VAC, 60 Hz. Dimensiones de la Unidad: Adecuadas para montaje en rack de 19 pulgadas Calibración: Kit de verificación externo para cero y span, flujo y fugas</p>	40 CFR Appendix L to part 50—reference method for the determination of particulate matter as PM10 in the atmosphere.	\$124.021.000,00
EQUIPO PARA LA MEDICIÓN DE MATERIAL PARTICULADO PM2.5	<p>CARACTERISTICAS TECNICAS ESPECÍFICAS.</p> <p>Principio de operación: Atenuación de rayos BETA o Light scattering at single particle (Dispersión de luz partícula única) Designaciones U.S. EPA Resolución de la medida: $\leq \pm 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Rango: 0 - 3000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Intervalo de almacenamiento de medición: 5 minutos Comprobación de span: Automática</p>	40 CFR Appendix L to Part 50, reference method for the determination of fine particulate matter as pm2.5 in the atmosphere	\$136.168.000,00

COMPONENTE	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	JUSTIFICACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO	COSTOS (2018)
	<p>Salida análoga: 0-1, 0-10v puesto RS 232 opcional Ethernet, puerto USB. Printer Output: Puerto de diagnóstico Informes de error: Informe de errores y diagnóstico del equipo Fuente de alimentación eléctrica: 110 - 120 VAC, 60 Hz. Dimensiones de la Unidad: Adecuadas para montaje en rack de 19 pulgadas Calibración: Kit de verificación externo para cero y span, flujo y fugas</p>		
ANALIZADOR DE OZONO (O3)	<p>CARACTERISTICAS TECNICAS ESPECÍFICAS.</p> <p>Principio de operación: Absorción ultravioleta Debe tener designación aprobada por la EPA Rango de medición: 0 - 2000 ppb Energía requerida: 110 - 120 VAC, 60 Hz, Entradas y Salidas: 0-100 mV, 0-1, 5, 10v. RS232, USB y Ethernet, Acceso remoto.</p> <p>Dimensiones: Adecuadas para montaje en rack de 19 pulgadas, deslizable con sus correspondiente rieles.</p>	<p>40 CFR Appendix D to part 50— measurement principle and calibration procedure for the measurement of ozone in the atmosphere.</p>	\$55.251.000,00
ANALIZADOR DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NOx)	<p>CARACTERISTICAS TECNICAS ESPECÍFICAS.</p> <p>Principio de operación: Quimioluminiscencia Debe tener designación aprobada por la EPA Rango de medición: 0.5ppb – 10ppm Voltaje de alimentación: 110 - 120 VAC, 60 Hz Entradas y Salidas: 0-100 mV, 0-1, 5, 10v. RS232, USB y Ethernet, Acceso remoto Filtros de partículas 1 kit de mantenimiento de bomba de muestra Debe reportar las concentraciones de NO, NO2 y NOx Dimensiones: Adecuadas para montaje en rack de 19 pulgadas, deslizable con sus correspondientes rieles.</p>	<p>40 CFR Appendix F to part 50— measurement principle and calibration procedure for the measurement of nitrogen dioxide in the atmosphere (gas phase chemiluminescence).</p>	\$74.026.000,00
ANALIZADOR DE DIOXIDO AZUFRE (SO2)	<p>CARACTERISTICAS TECNICAS ESPECÍFICAS.</p> <p>Principio de operación: Fluorescencia UV Debe tener designación aprobada por la EPA Rango de medición: 0 - 2000 ppb. Voltaje de alimentación: 110 - 120 VAC, 60 Hz Entradas y Salidas: 0-100 mV, 0-1, 5, 10v. RS232, USB y Ethernet, Acceso remoto. Consumibles: Un kit de mantenimiento de bomba de muestra, Lámpara UV</p>	<p>40 CFR Appendix A-1 to Part 50— reference measurement principle and calibration procedure for the measurement of sulfur dioxide in the atmosphere</p>	\$73.028.061,00

COMPONENTE	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	JUSTIFICACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO	COSTOS (2018)
	Dimensiones: Adecuadas para montaje en rack de 19 pulgadas, deslizable con sus correspondiente rieles.	(ultraviolet fluorescence method).	
ANALIZADOR DE MONOXIDO DE CARBONO (CO)	Principio de operación: Rueda GFC Infrarrojo no dispersivo Debe tener designación aprobada por la EPA Rango de medición: 0 – 100 ppm. Voltaje de alimentación: 110 - 120 VAC, 60 Hz Entradas y Salidas: 0-100 mV, 0-1, 5, 10v. RS232, USB y Ethernet, Acceso remoto Dimensiones: Adecuadas para montaje en rack de 19 pulgadas, deslizable con sus correspondiente rieles.	40 CFR Appendix C to part 50— measurement principle and calibration procedure for the measurement of carbon monoxide in the atmosphere (non-dispersive infrared photometry).	\$69.664.000,00
CALIBRADOR DINÁMICO MULTIGAS CON GENERADOR DE OZONO	Precisión en la medición de flujo: ± 1.0 % de escala completa Repetibilidad de medición de flujo: ± 1 % de escala completa Rango de flujo del aire de dilución: 0.2 a 4 SLPM Rango de flujo del gas de cilindro: 2.5 a 50 cc/min Número de puertos de entrada de cilindros: mínimo 2 puertos Número de puertos de entrada de aire de dilución: mínimo 2 puertos Rango del generador de ozono: 100 ppb – 6ppm Fotómetro con rango de 0-100 ppb y 0-10 ppm seleccionable Conexión eléctrica de 110 V Diseñado para ser instalado en gabinete de 19"	Método EPA 40 CFR parte 51 método 205 apéndice M	\$89.234.000,00
GENERADOR DE AIRE CERO	Las concentraciones del aire de salida deben ser: <1 ppb SO ₂ <1 ppb NO <1ppb NO ₂ <1 ppb O ₃ <50 ppb CO Conexión eléctrica de 110 V Diseñado para ser instalado en gabinete de 19" El generador de aire cero debe ser compatible con el calibrador dinámico multigas con generador de ozono	US EPA QA Handbook vol II y anexos.	\$36.400.000,00
ESTACION METEOROLÓGICA	Mástil telescópico neumático de 10 metros de altura con protección contra rayos Anemómetro sónico de dos dimensiones con las siguientes especificaciones	US EPA QA Handbook vol II y anexos.	\$45.000.000,00

COMPONENTE	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	JUSTIFICACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO	COSTOS (2018)
	<p>Velocidad de viento Rango: 0 – 50 m/s Exactitud: ± 0.3 m/s ó $\pm 3\%$ a 40 m/s Resolución: 0.1 m/s Dirección de viento: Rango 0°-360° Exactitud: $\pm 5^\circ$ Resolución: 1° Pluviómetro Debe reportar la cantidad de precipitación con una resolución de por lo menos 0.2 mm. Sensor de Temperatura Rango: -20 a 50 °C Exactitud: ± 0.2 °C Resolución: 0.1°C Sensor de Humedad Relativa Rango: 0-100% Exactitud: $\pm 3\%$ Sensor de Radiación Solar Resolución: 1%Radiación Unidades de medición en W/m² Exactitud: 5% Rango espectral: 400-1100 nm</p>		
CILINDRO DE GAS PARA CALIBRACION	Cilindro de 2 m ³ con válvula con mezcla de: 50 ppm de NO, 50 ppm de SO ₂ , 1000 ppm de CO y N ₂ Balancea 2000 psi	US EPA QA Handbook vol II y anexos.	\$2.800.000,00
MEDIDOR DE FLUJO	Rango de velocidad de flujo: 0.1-30 LPM Precisión trazable al NIST $\leq 1\%$ de la lectura de flujo Reporte de flujo en condiciones reales y estandarizadas	US EPA QA Handbook vol II y anexos.	\$15.000.000,00
SHELTER PARA INSTALACIÓN DE EQUIPOS DE CALIDAD DE AIRE	<p>Certificación: IP65 o equivalente en concordancia con IEC 60529. Para instalación de equipos de calidad de aire. Estructura: Doble muro con aislante térmico debe contar con estructura armable que permita una fácil instalación. Material: Acero galvanizado o Aluminio con pintura para intemperie y protección contra corrosión. Sistema de puesta a tierra: Sistema de protección contra sobrecargas eléctricas grado B (Grade B lightning proof) con varilla de cobre o conexión a protecciones existentes. La cabina debe contar con un sistema de regulación de la corriente de entrada que garantice 110v o 220v según se requiera para posteriormente alimentar la UPS.</p>	US EPA QA Handbook vol II y anexos.	\$69.123.000,00

Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB

COMPONENTE	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	JUSTIFICACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO	COSTOS (2018)
	<p>Sistema de monitoreo de condiciones ambientales de la cabina: Sensor de humedad y temperatura que reporte temperatura mínima, temperatura máxima, temperatura promedio, humedad relativa promedio, mínima y máxima.</p> <p>Control de temperatura: Debe poder mantener las condiciones interiores de la cabina con una temperatura <25°C, en condiciones ambientales de 35°C y humedad relativa de operación 95%.</p> <p>La unidad de aire acondicionado debe contar con un sistema de alta precisión para el control de temperatura y humedad y debe estar especialmente diseñado para cabinas de uso en exteriores con clasificación IP65 o equivalente.</p> <p>El aire acondicionado deberá encenderse automáticamente después de un corte de energía.</p> <p>Puertas: Puerta frontal y posterior con bloqueo anti-roboto de tres puntos y cerradura de seguridad.</p> <p>Entradas de cables: Debe contar con acceso para cables de poder, cables de señal para comunicaciones, cables de señal de instrumentación meteorológica, entrada para cables opcional.</p> <p>Conexiones eléctricas y accesorios necesarios para la instalación de los equipos.</p> <p>Contenedor para bombas: En caso de que los equipos usen bombas externas estas debe localizarse fuera del compartimiento climatizado y contar con un sistema de ventilación independiente apropiado para las bombas a instalar.</p> <p>Capacidad: para la instalación de 9 equipos, (2 de material particulado, 1 de ozono, 1 de óxidos de nitrógeno, 1 dióxido de azufre, 1 monóxido de carbono 1 calibrador de gases, 1 black carbón, 1 generador de aire Cero) 1 datalogger y 1 cilindro.</p> <p>UPS con capacidad para los equipos instalados</p> <p>Silla de base y estructura en polipropileno, con espaldar, sistema neumático con palanca, sin brazos, sin rodachines, de color negro</p> <p>Debe contar con todos los accesorios para la apropiada instalación de los equipos y toma de muestras de gases y material particulado.</p> <p>El shelter debe contar con una base que permita garantizar su estabilidad y un sistema que permita que esta pueda ser izada. Los ganchos deben estar conectados a la estructura principal.</p>		

Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB

COMPONENTE	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	JUSTIFICACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO	COSTOS (2018)
	<p>Debe contar con todos los accesorios para la toma de muestras. Por lo menos debe contar con los accesorios para la instalación del tubo toma muestra del equipo de material particulado y un manifold para la toma de muestras de gases.</p> <p>El mástil o torre meteorológica debe ser telescópico en aluminio. Todo el sensor meteorológico debe ser instalado en la torre y deben ser suministrados los accesorios necesarios para su apropiada instalación. Este elemento debe contar con pararrayos y puesta a tierra. Esta estructura pues esta adosado a la cabina o contar con un sistema de fijación independiente que pueda ser instalado en una azotea sin generar perforaciones o adecuaciones que puedan causar daños en la placa. De cualquier modo la estabilidad de la estructura debe ser garantizada.</p> <p>El sistema de entrada de muestra (manifold), el cual debe garantizar el mínimo tiempo de residencia de la muestra (menor a 20 segundos), desde que entra por el tomamuestras, hasta la entrada de cada uno de los analizadores. El manifold debe ser de un material inerte y garantizar que se elimine la humedad que puede deteriorar los equipos y alterar los resultados. Además, debe contar con las salidas necesarias para alimentar la cantidad de equipos que requieran de muestra evitando divisiones en los ductos una vez la muestra sale del instrumento.</p> <p>En la cubierta del shelter se debe instalar barandas de un (1) metro de altura, con resistencia a la corrosión y en general a las condiciones de intemperie, con acceso a la escalera diagonal fija con el ángulo de inclinación de 35° y ancho de 70 cm., se debe garantizar el anclaje a la estructura del shelter y debe cumplir con las cargas mínimas de diseño especificadas por el Reglamento NSR-10 B.4.2.2 Empuje en pasamanos y antepechos.</p> <p>Impresión e instalación de logos institucionales aprobados por el Supervisor del contrato en vinilo adhesivo laminado de alto tráfico (resistente a la intemperie).</p> <p>Suministro de la acometida eléctrica requerida para el suministro de energía de la estación.</p>		
TOTAL			\$863.515.061

8.2 Costos de Operación

Los costos de operación incluyen la adquisición de elementos para el correcto funcionamiento y/o mantenimiento de los equipos a los cuales que conforman la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá- RMCAB, así mismo la adquisición de los materiales de referencia y/o calibración de los mismos para garantizar que los datos reportados sean comparables con un dato verídico.

Para el funcionamiento general de las estaciones, se requiere el suministro de energía eléctrica y el servicio de desplazamiento de los profesionales y técnicos de apoyo que realizan las actividades de inspección, verificación y manteniendo de los equipos.

A continuación se reflejan discriminados los costos anuales de operación de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá- RMCAB, en la Tabla 13:

Tabla 13. Costos anuales de operación de la RMCAB

CONCEPTO DEL GASTO	OBJETO	COSTOS ANUALES
12141903- NITRÓGENO N 12142106- MEZCLAS DE GAS INERTE 12142108- MONÓXIDO DE CARBONO 12352402- MEZCLAS QUÍMICAS ORGÁNICAS	SUMINISTRO DE GASES DE REFERENCIA PARA LOS EQUIPOS ANALIZADORES DE GASES DE PROPIEDAD DE LA SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE	\$35.000.000
81141504 - REPARACIÓN O CALIBRACIÓN DE EQUIPOS	CALIBRACIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE REFERENCIA DE LAS ESTACIONES DE CALIDAD DEL AIRE Y METEOROLOGÍA DE LA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE DE BOGOTÁ	\$ 70.000.000
41113100- ANALIZADORES Y MONITORES DE GAS	ADQUIRIR INSUMOS Y REPUESTOS PARA LA CORRECTA OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS ANALIZADORES DE LA RED MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE DE BOGOTÁ.	\$150.000.000
24112403- ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL	ADQUIRIR ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL(PROTECTORES AUDITIVOS, BOTAS, GORRAS, CASCO, CONTURON CARGUE HERRAMIENTAS, ARNES, ENTRE OTROS) PARA 6 CONTRATISTAS	\$ 20.000.000
84131605- PRODUCTO: SEGURO DE ACCIDENTES DE TRABAJO	PAGO DE ARL PROFESIONALES DE CAMPO DE LA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE	\$ 3.000.000
83100000 - PAGO DE SERVICIOS PÚBLICOS ESTACIONES DE LA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DE BOGOTA	PAGO DE CONSUMO DE ENERGIA ESTACIONES RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE DE BOGOTA-RMCAB	\$6.000.000
78111812- LEASING DE VEHÍCULOS DE VAN O MINIVANS PARA PASAJEROS	ADQUIRIR SERVICIO DE TRANSPORTE PARA LAS VISITAS DE MANTENIMIENTO EN LAS ESTACIONES D ELA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE DE BOGOTÁ	\$ 192.000.000
TOTAL COSTO ANUAL		\$ 911.532.000



Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB

Dichos costos se encuentran proyectados en el Anexo 4: “Planeación Adquisición de Bienes y Servicios de la RMCAB”

8.3 Costos del recurso humano para la operación de la RMCAB

El personal involucrado en las diferentes actividades que se llevan a cabo para la operación de la RMCAB implica profesionales en áreas como: Ingenieros químicos, ambientales, electrónicos, meteorólogos tal cual esta descrito en la sección 7 *Recurso humano necesario para la operación de la RMCAB*. A continuación se describen los costos asociados:

			HONORARIO
TOTAL	COSTO	MENSUAL	\$44.592.000,00
PROFESIONALES RMCAB			
TOTAL ANUAL			\$535.104.000,00

9. Conclusiones

- Actualmente la RMCAB cuenta con 13 estaciones de monitoreo, las cuales cuentan con equipos automáticos de medición de contaminantes criterio y parámetros meteorológicos. En el 2018 se realizaron las gestiones para la instalación de una nueva estación de monitoreo en la localidad de Fontibón, y además se instalaron equipos de medición de Black Carbon en cinco estaciones, como un nuevo parámetro de monitoreo, dado que corresponde a una fracción del material particulado, el contaminante de mayor interés ambiental en la ciudad.
- De acuerdo a las condiciones de infraestructura de la RMCAB, se observa que se cumple con la mayoría de los criterios de microlocalización de sitios de vigilancia de calidad del aire (Capítulo 6.4 *Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire del MAVDT (2010)*), tales como: distancia de los toma muestras a lugares cercanos y fuentes de emisión, condiciones básicas de mantenimiento (suministro eléctrico, línea telefónica para transmisión de datos, vigilancia permanente) entre otros.
- Debido al cambio del entorno y el efecto que genera sobre las mediciones la influencia de las fuentes móviles en la zona, la estación de Usaquén se reclasifica como estación de tráfico.
- Aunque se registran concentraciones considerablemente altas en estaciones de fondo como CDAR y Suba ocasionalmente, es de aclarar que siguen manteniendo su naturaleza de estación de fondo. Al no existir fuentes cercanas de contaminación a la estación, las concentraciones registradas se deben al efecto del transporte de contaminación de otras áreas de la ciudad o fuera de la misma.
- Los métodos de medición de contaminantes de la RMCAB se basan en los métodos equivalentes y de referencia establecidos por la USEPA, por ello los monitores adquiridos para las estaciones son de las marcas que cumplen con dichos métodos. Gran parte de estos equipos llevan 10 años de funcionamiento, por lo cual se realizó el proceso de adquisición de nuevos equipos, con el fin de actualizar los monitores, y adicionalmente se realizará reemplazo de los demás equipos periódicamente, de acuerdo a su tiempo de funcionamiento.
- En cumplimiento a lo establecido en el US EPA QA Handbook Vol II y anexos, la RMCAB cumple con los requerimientos para la calibración de los analizadores de gases en las estaciones, para esto la RMCAB cuenta con un calibrador primario de

ozono, calibradores dinámicos, gases estándar de calibración (los cuales tienen certificado vigente de gases).

- Se determinó que el 43% de los monitores de contaminantes y el 57% de los sensores meteorológicos tienen más de 10 años de uso, por lo cual se hace necesario que sean reemplazados por nuevos equipos, y dar de baja a los que tengan más de 1 años de uso, teniendo en cuenta que su funcionamiento es durante las 24 horas y los 365 días del año.
- De acuerdo con el análisis de los datos históricos de la RMCAB desde el año 2008, se observa que las estaciones cercanas entre sí tienen comportamientos similares en los contaminantes, aunque cada estación tiene influencias diferentes de contaminación. En general se observa que las concentraciones registradas en la mayoría de las estaciones para los últimos años son menores a las registradas en el 2008, sin embargo, contaminantes como el PM_{2.5} y el O₃ han aumentado en ciertas estaciones, debido a variaciones del entorno y de la dinámica de los factores meteorológicos en el tiempo.
- Al realizar el análisis de la cobertura de medición por contaminantes en la RMCAB, teniendo en cuenta las concentraciones de PM₁₀, velocidad y dirección del viento, de los últimos 10 años, se observa que actualmente la zona suroccidental es la que tiene la mejor cobertura de medición, dada la cercanía entre estaciones y el comportamiento meteorológico de la atmósfera en dicha zona. Sin embargo, se observa que hay zonas con baja cobertura, tales como el sur de la ciudad (localidad de Usme y zona sur de Ciudad Bolívar), sector occidental (Fontibón y Engativá) y extremo norte de la ciudad (zona norte de Suba y Usaquén).
- Según el análisis de la distribución espacial de las variables meteorológicas monitoreadas en la RMCAB, se evidenció que las estaciones que poseen sensores de medición de presión atmosférica, radiación solar y humedad relativa son los necesarios para el análisis del comportamiento de dichas variables en la ciudad, ya que las dos primeras registran valores estables a lo largo del año, y la tercera es monitoreada en ocho estaciones en diferentes lugares de la ciudad, por lo que su variabilidad puede ser registrada en dichos monitores.
- Para el funcionamiento adecuado de la RMCAB, dentro de los requerimientos de personal se debe considerar que el grupo debe estar compuesto por un coordinador técnico, que realice la supervisión del funcionamiento de la red; personal técnico (validador, analista de datos y meteorólogo) para la revisión de datos y elaboración de reportes, personal administrativo para el apoyo de la gestión de contratos e indicadores, personal de campo para el mantenimiento de los equipos de monitoreo



Secretaría Distrital de Ambiente
Dirección de Control Ambiental
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB

y coordinador de alturas para verificar que las revisiones de las estaciones se realicen con las medidas de seguridad pertinentes.

- El costo de instalación de una estación de monitoreo con precios del año 2018 es de \$863.515.061, incluyendo los equipos automáticos de monitoreo de contaminantes y sensores meteorológicos automáticos, equipos e insumos de calibración, y shelter para el almacenamiento de los equipos.
- Anualmente, la RMCAB destina \$911.532.000 para su correcta operación, incluyendo insumos de repuestos y de calibración para los monitores de contaminantes, equipos de protección personal, pago de seguridad social y transporte de personal, con lo cual es el rubro más alto que requiere la RMCAB en su operación.
- Teniendo en cuenta las ampliaciones proyectadas de la RMCAB, con respecto a la instalación de nuevas estaciones de monitoreo, y nuevos parámetros de medición, se hace pertinente la evaluación de la contratación de personal adicional, con el fin de realizar los procesos de operación y mantenimiento de la RMCAB de acuerdo a los procedimientos internos establecidos y del reporte permanente de la información registrada por la RMCAB.