LINEAMIENTOS DE LA MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN CUANTO A $PM_{2.5}$ Y SU IMPLEMENTACIÓN EN PROGRAMAS DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO

GUTIERREZ GAMBOA MARIA ALEJANDRA
PINILLA ARIAS SARA VIVIANA

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C
2018

LINEAMIENTOS DE LA MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN CUANTO A $PM_{2.5}$ Y SU IMPLEMENTACIÓN EN PROGRAMAS DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO

GUTIERREZ GAMBOA MARIA ALEJANDRA
PINILLA ARIAS SARA VIVIANA

DIRECTOR DE GRADO
JOSÉ ALEJANDRO MURAD

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGIÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C
2018

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN 1
ABSTRAC 2
INTRODUCCIÓN. 3
1. OBJETIVOS 5
1.1. OBJETIVO GENERAL 5
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 5
2. MARCO TEÓRICO 6
2.1. DESCRIPCIÓN DEL CONTAMINANTE PM $_{2.5}$. 6
2.2. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DEL CONTAMINANTE PM $_{2.5}$ 6
2.3. SITUACIÓN DE LA MEDICIÓN DEL CONTAMINANTE. 10
2.3.1. Contaminantes evaluados. 15
2.3.2. Sistemas de vigilancia de calidad del aire. 17
2.3.3. Cobertura temporal de la informacion reportada. 17
2.3.4. Tecnologia empleada por los SVCA en 2017. 21
2.4. NORMATIVIDAD APLICABLE. 22
2.4.1. Normatividad distrital. 22
2.4.2. Normativa nacional. 25
2.4.3. Normativa internacional. 34
3. METODOLOGIA. 39
4. RESULTADOS. 41
4.1. FUENTES E INVENTARIOS DE EMISION. 41
4.1.1. Actividades Industriales. 41
4.1.2. Actividades terminos de referencia. 43
4.2. METODO DE MEDICION. 47
4.2.1. Equipos de medicion. 47
4.2.2. Técnicas de medición y Cálculos de concentración 58
4.3. PLAN DE SEGUMIENTO Y MONITOREO. 88
4.3.1. Objetivos. 88
4.3.2. Criterios de localizacion y ubicación. 88
4.3.3. Analisis de datos. 89

4.3.4. Selección de equipos. 93
4.3.5. Indicadores y costos. 96
4.3.6. Ficha de seguimiento y monitoreo. 101
5. CONCLUSIONES 109
6. RECOMENDACIONES 110
REFERENCIAS 111

TABLA DE FIGURAS

Figura 1.Distribución espacial de los promedios anuales de $PM_{2.5}$. Fuente. RMCAB.....8
Figura 2.Histórico del número de estaciones de los SVCA. Fuente. IDEAM., Informe de calidad del aire 2017 10
Figura 3.Histórico de SVCA en Colombia. Fuente. IDEAM. Informe de calidad del aire 2017. .11
Figura 4.Distribución geográfica y número de estaciones de cada SVCA en Colombia 2016.Fuente Muñoz J.2018 12
Figura 5.Número de estaciones de monitoreo por contaminante. Fuente. IDEAM. Informe de calidad del aire 2017 16
Figura 6. Evolución del número de estaciones con representatividad temporal superior al 75% por contaminante en el periodo 2011-2016. Fuente IDEAM. Informe calidad del aire 2016.....19
Figura 7. Evolución del número de estaciones con representatividad temporal superior al 75% de $PM_{2.5}$ en el periodo 2011-2016 Fuente IDEAM. Informe calidad del aire 2016.....19
Figura 8. Evolución del número de estaciones con representatividad temporal superior al 75% por contaminante en el 2017 Fuente IDEAM. Informe calidad del aire 2017 20
Figura 9. Medidas para mejorar la representatividad temporal. Fuente IDEAM. Informe calidad del aire 2017 20
Figura 10. Tecnologías implementadas. Fuente, Informe de calidad del aire 2017. IDEAM.....21
Figura 11. Políticas Ambientales Distritales. Fuente secretaria distrital de ambiente http://ambientebogota.gov.co/de/politicas-ambientales-del-d.c 24
Figura 12. Normativas Distritale.. Fuente Tomado y adaptado de la normativa Distrital, Elaborado por muñoz 2018 24
Figura 13. Políticas Ambientales Nacionales. Fuente. Tomado y adaptado de las políticas ambientales. Elaborado por J.Muñoz 2018 26
Figura 14 Calidad del aire normatividad nacional.....31
Figura 15. Norma internacional. Fuente Autoras 35
Figura 16. Mapa normatividad internacional. Fuente Autoras.....36
Figura 17. Comparación LPM por cada país. Fuente Autoras 37
Figura 18. Metodología. Fuente J. Murad 2018 40
Figura 19 Actividades industriales material particulado. Fuente. Resolución 909/2008.....42
Figura 20. Actividades industriales. Fuente .Autoras Tabla 9. Actividades industriales. Fuente. Autoras.....43
Figura 21. Principio de medición de referencia y procedimiento de calibración para la medición de $PM_{2.5}$ en la atmosfera. Fuente. Tomado del 40 CFR parte 50 apéndice L y adaptado por autoras 72
Figura 22. Requisitos de garantía de calidad para los monitores utilizados en las evaluaciones de los estándares nacionales de calidad del aire ambiental. Fuente. Tomado del 40 CFR parte 58 apéndice A y adaptado por autoras. 76
Figura 23. Metodología del monitoreo de la calidad del aire ambiente. Fuente. Tomado del 40 CFR parte 58 apéndice C y adaptado por autoras.....79

Figura 24. Criterios de diseño de red para el monitoreo de la calidad del aire ambiental. Fuente. Tomado del 40 CFR parte 58 apéndice D y adaptado por autoras. 83
Figura 25 Criterios de ubicación de la trayectoria de sonda y monitoreo para el monitoreo de la calidad del aire ambiental. Fuente. Tomado del 40 CFR parte 58 apéndice E y adaptado por autoras. 86
Figura 26. Índice uniforme de calidad del aire. Fuente. Tomado del 40 CFR parte 58 apéndice G y adaptado por autoras.....88
Figura 27. Rosa de vientos mensual de Sogamoso (ejemplo). Fuente. https://www.meteoblue.com/es/tiempo/archive/windrose/sogamoso_colombia_3667873 89
Figura 28. Puntos preliminares de Sogamoso. Fuente Autoras 89
Figura 29. Concentración vs velocidad de viento. Fuente autoras 91
Figura 30. Concentración vs precipitación. Fuente autoras 91
Figura 31. Concentración vs temperatura. Fuente autoras 91
Figura 32. Concentración vs Humedad. Fuente autoras.....92
Figura 33.Interpretación de Correlación de Pearson. Fuente http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14805/00798291.pdf?sequence=1&isAllowed=y 93
Figura 34. Equipo BAM 10.Fuente.Autoras 95
Figura 35. Promedios Diarios. Fuente Autoras 96
Figura 36. ICA. Tomado y adaptado de la Resolución 2254 de 2017 98
Figura 37Esquema de medición de tipo automático. Fuente J. Murad 102
Figura 38 Puntos definitivos y rosa de vientos. Fuente Autoras 102
Figura 39 Estación meteorológica BAM 1020. Fuente Autoras.....105

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.Descripción de $PM_{2.5}$. Fuente. Autoras.....6
Tabla 2. Casos de muerte por enfermedades. Fuente. DANE. Encuesta nacional de calidad de vida. 2011 10
Tabla 3.Distribución geográfica y número de estaciones de cada SVCA en Colombia. Fuente: IDEAM, informe de calidad del aire 2016 14
Tabla 4, Municipios con SVCA inferior al reglamento. Fuente IDEAM, Informe de calidad del aire 2016 15
Tabla 5.Estaciones con representatividad temporal superior al 75% por SVCA. Fuente IDEAM. Informe calidad del aire 2016. 18
Tabla 6. Limites máximo permisible para $PM_{2.5}$, Fuente. Res. 2254 de 2017. 32
Tabla 7. Estados de prevención, alerta y emergencia para $PM_{2.5}$ Res. 2254 de 2017. 32
Tabla 8. ICA para $PM_{2.5}$. Fuente. Res. 2254 de 2017. 33
Figura 20. Actividades industriales. Fuente .Autoras Tabla 9. Actividades industriales. Fuente. Autoras.....43
Tabla 10 Términos de referencia de la autoridad ambiental. Fuente Autoras.....46
Tabla 11. Equipos aprobados por la EPA para la medición de material particulado $PM_{2.5}$. Fuente Autoras. 56
Tabla 12. Equipos EPA $PM_{2.5}$. Fuente Autoras.....57
Tabla 13. Análisis contaminante. Fuente cálculos de concentración. Murad J.2018 90
Tabla 14Correlación de Pearson. Fuente autoras.....92
Tabla 15. Promedios diarios. Fuente autoras.....96
Tabla 16. Información general de los datos de concentración. RMCAB. Fuente autoras 96
Tabla 17. Promedios de concentración 24 horas en puntaje ICA. Fuente Autoras 98
Tabla 18. Cumplimiento con la norma. Fuente: Autoras 99
Tabla 19. Costos para el municipio de Sogamoso. Fuente: J. Murad y Autoras. 101
Tabla 20 Descripción del equipo BAM 1020. Fuente Autoras. 105
Tabla 21 Localización de las estaciones en Sogamoso. Fuente autoras 106

RESUMEN

Este trabajo se realizó con la ayuda de una recopilación de información sobre la contaminación del aire y las partículas que se encuentran en ella, se amplió la información acerca de $PM_{2.5}$, en el cual se presenta su descripción, la situación actual que presenta el contaminante a nivel mundial, nacional y distrital; se destaca la problemática ambiental y de salud que el PM está generando en los seres vivos, como se ha mejorado el seguimiento y monitoreo del contaminante con el aumento de los sistemas de vigilancia de la calidad del aire que se encuentran en funcionamiento en Colombia, las diferentes tecnologías para la medición de $PM_{2.5}$, y la normatividad vigente internacional, nacional y distrital, con el fin de llevar a cabo un proceso adecuado para el seguimiento y monitoreo de $PM_{2.5}$ en calidad del aire, mediante una ficha técnica en la cual se desarrolló cada ítem contemplando las diferentes actividades que genera esté contaminante, los equipos para su medición, el CFR 40 el cual especifica paso a paso todo sobre las mediciones, cálculos, seguimientos, informes, mantenimiento etc.; del material particulado menor a $_{2.5}$ µg, por último se presenta un ejemplo de cómo se debe implementar la ficha en el municipio de Sogamoso.

ABSTRAC

This work was carried out with the help of a compilation of information on air pollution and the particles found in it, the information about PM $_{2.5}$ was expanded, in which its description is presented. Current situation of the pollutant at the global, national and district levels; the environmental and health problems that PM is generating in living beings are highlighted, as the follow-up and monitoring of the pollutant has been improved with the increase of the air quality monitoring systems that are in operation in Colombia; different technologies for the measurement of PM $_{2.5}$, and the current international, national and district regulations, in order to carry out an adequate process for the monitoring and monitoring of PM $_{2.5}$ in air quality, through a technical sheet in which development of each item contemplating the different activities that the pollutant generates, the equipment for its measurement, the CFR 40 which specifies step by step everything about the measurements, calculations, follow-ups, reports, maintenance etc. of the particulate material smaller than $_{2.5}$ μg, by The last one is an example of how the file should be implemented in the municipality of Sogamoso.

INTRODUCCIÓN.

En el país la contaminación del aire se ha convertido en una problemática ambiental de gran importancia; el deterioro de la calidad del aire ha tenido un efecto negativo en el medio ambiente y la salud humana.

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM define la contaminación atmosférica como "la presencia que existe en el aire de pequeñas partículas o productos secundarios gaseosos que pueden implicar riesgo, daño o molestia para las personas, plantas y animales que se encuentran expuestas a dicho ambiente". (SDA)

Los principales medios por los cuales se produce contaminación atmosférica se concentran en los procesos industriales en donde se realiza combustión externa, así como por fuentes móviles tales como los automóviles; Los diferentes procesos productivos, en su mayoría son los causantes de la formación de emisión de contaminantes a la atmósfera, se producen de los combustibles no biodegradables los diferentes tipos de combustiones que se generan en las actividades socio económicas (Boris, 2005).

Las partículas de diámetro inferior a $_{2.5}$ son tan pequeñas que pueden ser detectados solo con un microscopio electrónico, son peligrosas porque, al ser inhaladas, pueden alcanzar las zonas periféricas de los bronquiolos y alterar el intercambio pulmonar de gases. (Región De Murcia Consejería De Salud)

Grandes cantidades de PM $_{2.5}$ pueden causar daños en la salud, mortalidades y morbilidades con enfermedades como cáncer de pulmón, asma, cardiopatías y mayor riesgo de infarto cardíaco, este contaminante se compone por nitratos, sulfuros, amoniaco, cloruro sódico, productos químicos orgánicos, metales entre otras partículas sólidas y liquidas suspendidas en el aire. De

hecho, son la principal causa de reducción de la visibilidad (niebla). (EPA, 2017), por esto la importancia de una correcta medición de $PM_{2.5.}$

Para que esta medición se elabore correctamente, sé debe tener en cuenta las regulaciones generales que se presentan en el CFR (Code of Federal Regulations) en el cual se estipulan unos requisitos para la calidad y confiabilidad de los datos, teniendo en cuenta los sitios adecuados de medición y su debido proceso, también la importancia de brindar estos datos al público de una manera clara con su debido informe.

Con base a la normativa, estudios, informes, entre otros se elaborará una ficha para el seguimiento y monitoreo de $PM_{2.5}$ usando como ejemplo el municipio de Sogamoso con el fin de que se pueda implementar como formato para cualquier empresa, entidad o ente que desee utilizarla.

1. OBJETIVOS

1.1.OBJETIVO GENERAL

Desarrollar los lineamientos para la medición en calidad del aire del contaminante $PM_{2.5}$ y su implementación en programas de seguimiento y monitoreo.

1.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la descripción del contaminante $PM_{2.5}$ y determinar cuáles son las fuentes que lo generan.
- Establecer la metodología de medición de $PM_{2.5}$ en calidad del aire, basado en la regulación del código federal de Estados Unidos (USEPA), contemplando las fuentes de emisión, los equipos para su medición y las técnicas existentes para determinar su concentración.
- Elaborar una ficha de seguimiento y monitoreo de calidad del aire para la evaluación del contaminante $PM_{2.5}$ con base en los parámetros, criterios y lineamientos técnicos que permiten establecer una adecuada gestión del recurso atmosférico.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. DESCRIPCIÓN DEL CONTAMINANTE PM $_{2.5}$.

El material particulado se diferencia por su tamaño, en este caso las partículas finas son las menores a $_{2.5}$ micras, en la Tabla 1 se describe de donde proviene el contamínate, como es y cómo afecta a las poblaciones.

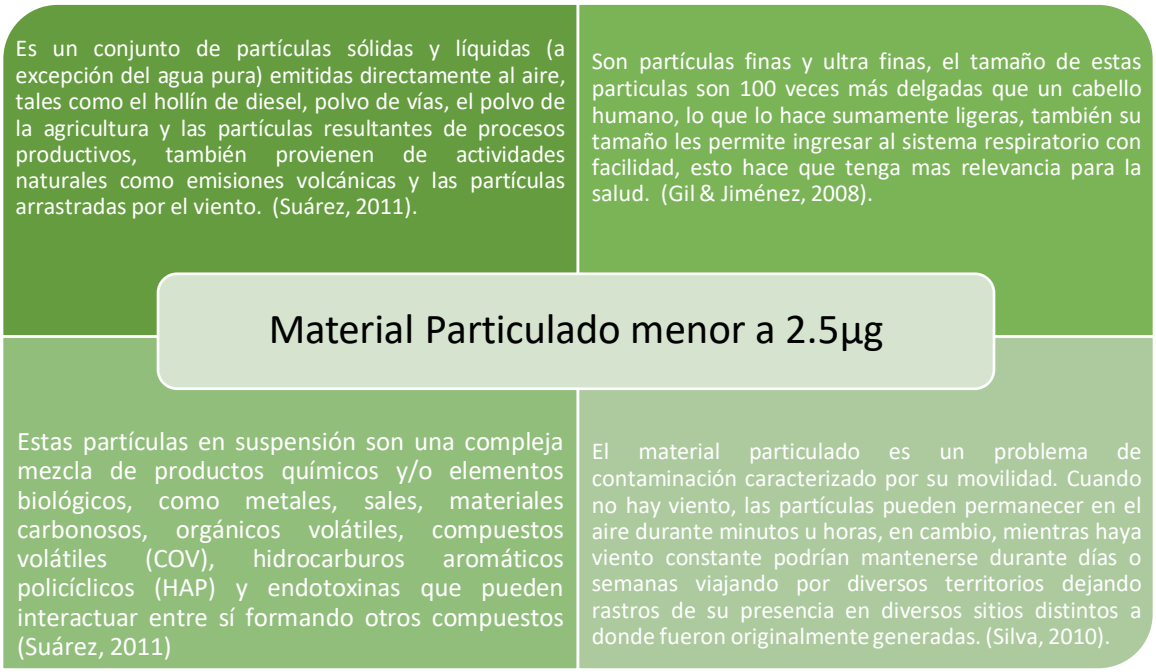


Tabla 1.Descripción de PM $_{2.5}$. Fuente. Autoras

2.2. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DEL CONTAMINANTE PM $_{2.5}$

Teniendo en cuenta el informe de calidad del aire del 2016 del SVCA de Bogotá D.C, se puede observar las concentraciones promedio del año de las diferentes estaciones, para este año tomaron el 72.72% de las estaciones que miden $PM_{2.5,}$ es decir 8 de las 11 estaciones por no cumplir el porcentaje de información valida superior al 75% que se necesita para analizar y

comparar con la norma. De estas estaciones las concentraciones tienen un promedio anual desde 10 µg/m^3 hasta 30µg/m^3, que son las estaciones de San Cristóbal y Kennedy respectivamente.

La normativa establece en cuento a $PM_{2.5}$ que la concentración no debe ser mayor a $_{2.5}$ µg/m^3 anual. (Actualmente rigüe la resolución 2254 del 2017). Las mayores concentraciones se presentaron en el suroccidente de la ciudad aunque solo una paso los límites máximos permisibles, las concentraciones son altas y tienden a aumentar, en el informe hacen una comparación de las concentraciones anuales del 2015 con las del 2016 y en todas las concentraciones aumentaron, si bien en la estación de Kennedy en el 2015 tenía una concentración de 27 µg/m^3 esta incumple la norma y fue una de las estaciones con más incremento, en la figura 1 se puede observar la distribución espacial de los promedios anuales de $PM_{2.5}$ con base en el método de interpolación Kriging, para las estaciones con captura de datos superior a 75%. Con este diagrama se puede observar la influencia de las estaciones, toda la parte de las localidades de Bosa y Kennedy tienen las concentraciones más altas de Bogotá para el año 2016, las altas concentraciones se deben al flujo vehicular, incendios forestales y la cantidad de industrias que tiene Bogotá, esto causa "visibilidad reducida, suciedad en edificaciones, afectaciones a la naturaleza o perjuicios sobre la salud". (Boris, 2005). Sobretodo el $PM_{2.5}$ tiene un mayor potencial de perjudicar la salud de la población, dado que las partículas son muy pequeñas y pueden ingresar con mayor facilidad al cuerpo humano alojándose en los pulmones (EPA, 2018). También se asocian con un amplio espectro de enfermedades agudas y crónicas, tales como cáncer de pulmón o enfermedades cardiopulmonares; "a nivel mundial, causa de 4,2 millones de muertes prematuras en todo el mundo por año". (OMS, 2018)

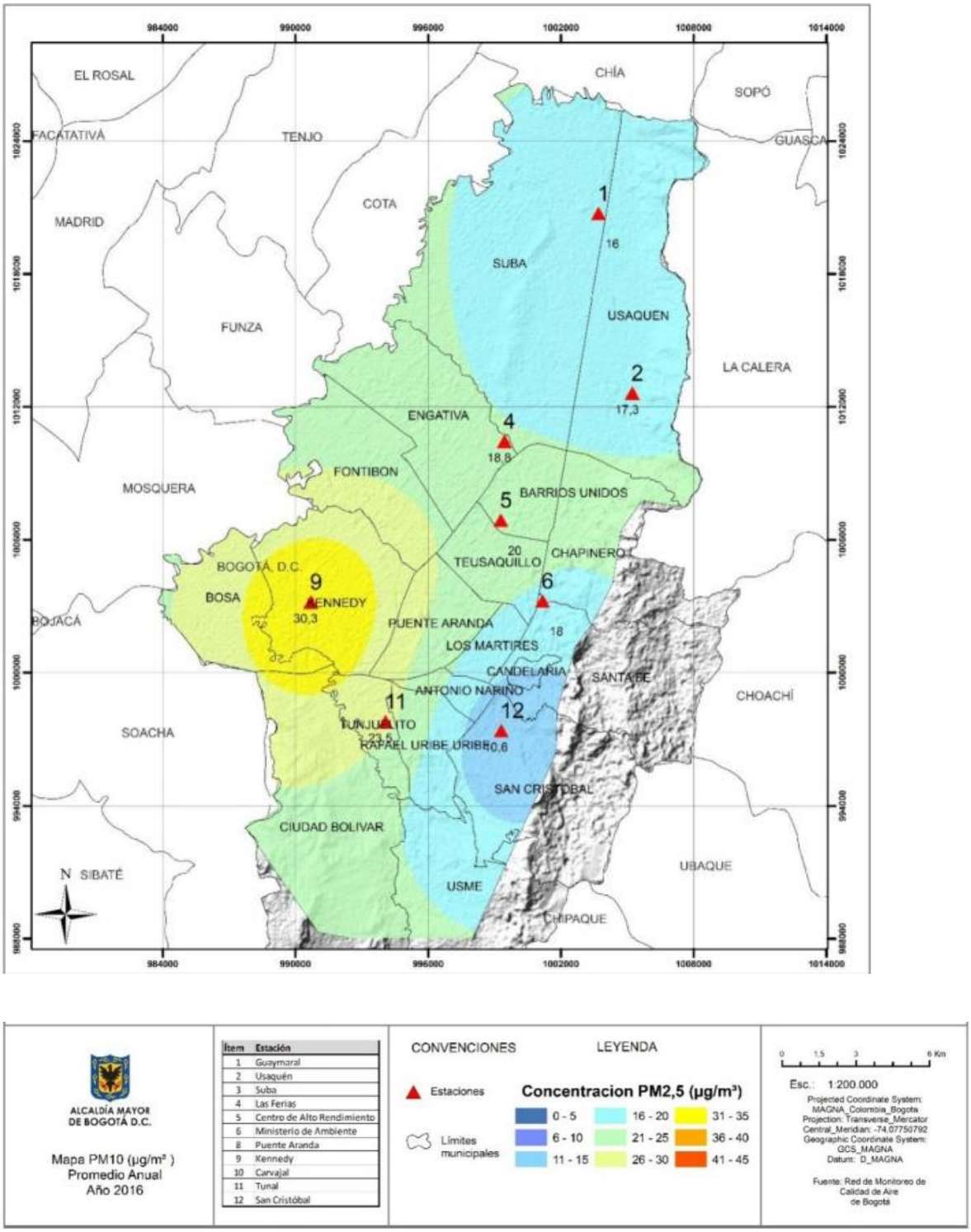


Figura 1.Distribución espacial de los promedios anuales de $PM_{2.5}$. Fuente. RMCAB

A nivel Bogotá se muestra en la siguiente tabla. 2 tomada del DANE en donde se registra 3.401 muertes entre el 2010-2011 relacionadas con las diferentes enfermedades respiratorias ocasionadas por la contaminación del aire, en donde la gran mayoría de las muertes fueron crónicas de vías respiratorias; se concluye que es un gran número de muertes para el cual se requiere, concienciar a las autoridades sobre el daño causado, para el debido control de estos contaminantes imperceptibles, aunque los promedios anuales de la ciudad pasaron a ser de 28 $\mu g/m^3$ para el 2012 a 19 $\mu g/m^3$ en el 2016 las concentraciones anuales por estación de las localidades de Kennedy y Bosa superan los límites máximos permisibles.

Un Factor importante también son las mediciones diarias donde la normativa vigente establece niveles máximos permisibles de 37 $\mu g/m^3$ para 24 horas de $PM_{2.5}$, de las cuales para el año 2016 ocurrieron 51 aumentos mayores al 50 $\mu g/m^3$ en total, las estaciones con más excedencias fueron las de Kennedy y Carvajal. El incendio forestal de Monserrate ocurrido el 3 de febrero del 2016 causo los niveles máximos de concentraciones de las estaciones de Suba, Centro de Alto Rendimiento, Ministerio de ambiente, Kennedy y Carvajal todas superando el límite máximo permisible, claramente este evento genero una gran influencia en el aumento de la concentración de febrero, para los meses de mitad de año la concentración disminuyo y aumentando a final del año, este fenómeno podría estar influenciado por los vientos de mitad de año porque estos ayudaron a la dispersión de las partículas. (RMCAB, 2016).

Tabla 2. Casos de muerte por enfermedades respiratorias potencialmente relacionados con la contaminación del aire (2010-2011)

Departamento	Cancer de traquea, bronquios o pulmon	Cancer de otros sitios	Neumonia	Cronicas de las vias respiratorias	Pulmonares por agentes externos
Bogota	491	28	944	1,831	107

Tabla 2. Casos de muerte por enfermedades. Fuente. DANE. Encuesta nacional de calidad de vida. 2011

2.3. SITUACIÓN DE LA MEDICIÓN DEL CONTAMINANTE.

Con referencia a la información presentada en el Informe de Calidad del aire por él (IDEAM, 2016) se estableció que para este año teniendo en cuenta los reportes realizados por SISAIRE, a nivel nacional operaban 159 estaciones de monitoreo, distribuidas en 23 SVCA, de las cuales 142 eran fijas y 17 eran de tipo indicativo, para el año 2017 se incrementó el número de estaciones en 45, obteniendo 204 estaciones con tendencia al crecimiento, debido al interés de las Autoridades Ambientales en la medición de la Calidad del Aire y el cumplimiento en lo establecido en Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire. El incremento en el número de estaciones de los SVCA y los SVCA en Colombia durante el periodo de 2010 a 2017, se representó en la figura 2 y 3.

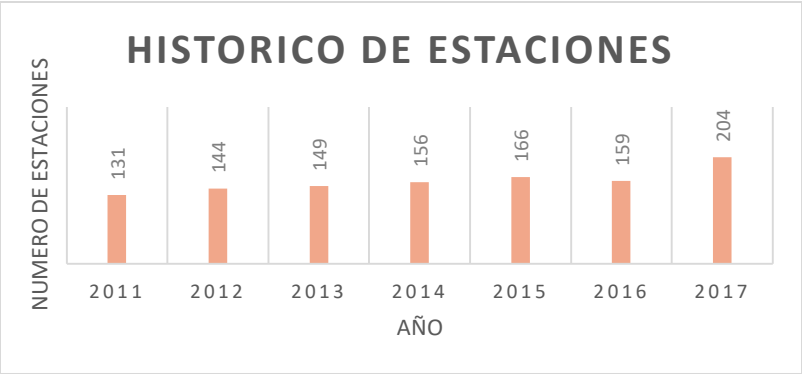


Figura 2.Histórico del número de estaciones de los SVCA. Fuente. IDEAM., Informe de calidad del aire 2017

Teniendo en cuenta el reciente informe del Estado de Calidad del Aire en Colombia del 2017, el número de estaciones de SVCA con los que cuenta el país al finalizar el año fue de 26, es decir 3 más que el año anterior, con una cobertura de 91 municipios y 22 departamentos.

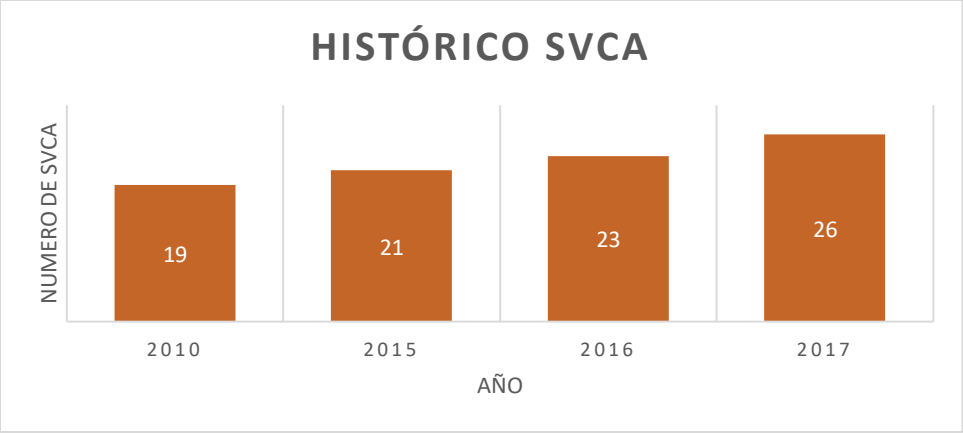


Figura 3.Histórico de SVCA en Colombia. Fuente. IDEAM. Informe de calidad del aire 2017.

La distribución geográfica que presentaba cada uno de los SVCA , con respecto al informe del 2016 establece que se abarcaron 72 municipios y 19 departamentos, con cobertura en la región Caribe, Andina y Pacifico, como se presenta en la figura 3; se tiene en cuenta que las autoridades ambientales han cumplido con la implementación de estaciones fijas, considerando los criterios poblacionales mencionados en el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire, por cual se encuentra presencia de dichas estaciones en el Área Metropolitana del Valle de Aburra, Zona minera del Cesar, Bogotá, Zona minera de la Guajira, la jurisdicción de la CAR y la ciudad de Santiago de Cali. (IDEAM, 2016).

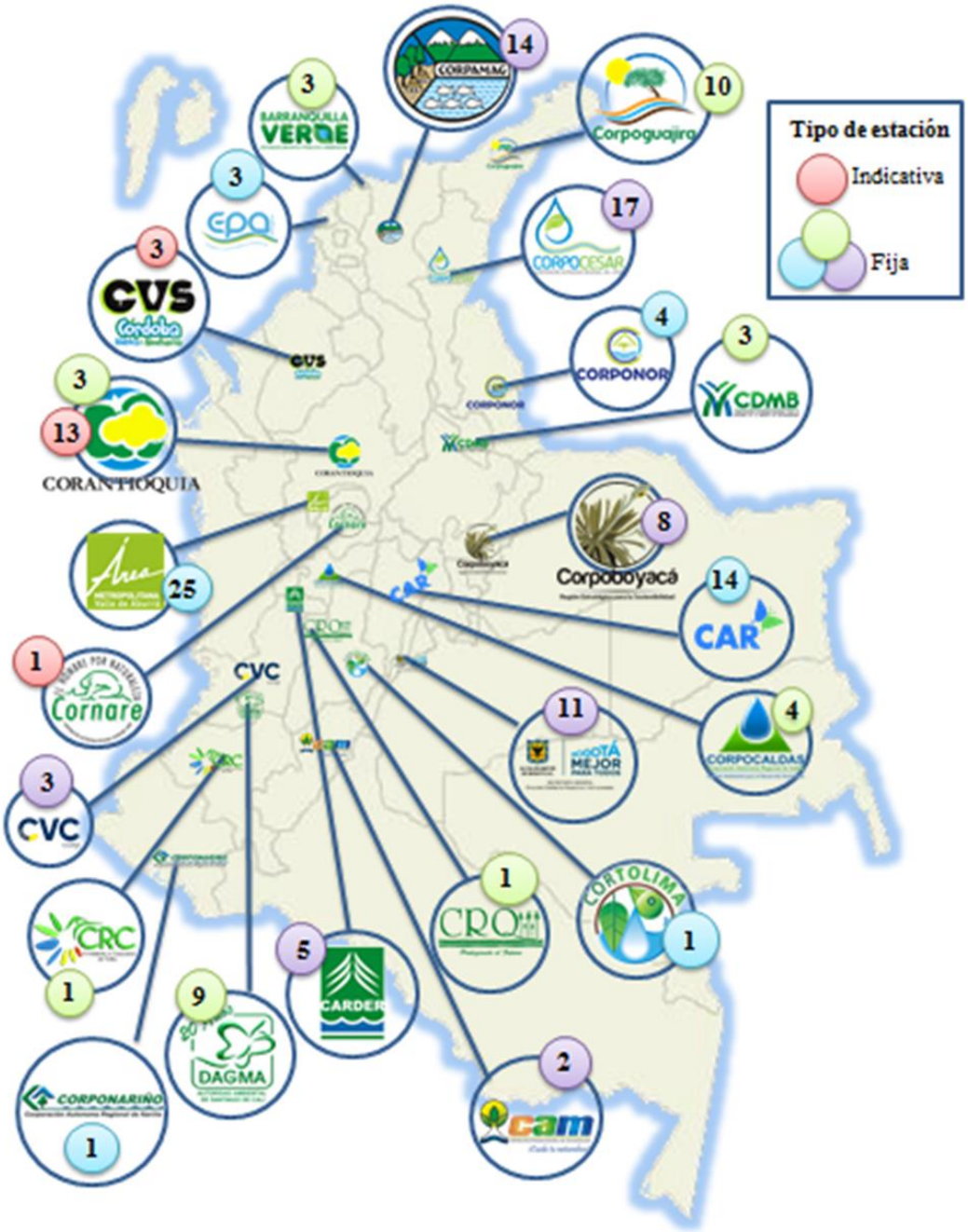


Figura 4.Distribución geográfica y número de estaciones de cada SVCA en Colombia 2016.Fuente Muñoz J.2018

La figura 4 nos muestra el gran avance que se ha venido llevando acabo sobre el monitoreo de calidad del aire, puesto que cada vez se cuenta con sistemas de vigilancia más amplios con respecto a la cobertura de Colombia, con el fin de garantizar, monitorear y evaluar la calidad del aire a nivel nacional, referente a lo anterior se presenta la tabla N.3 la cual relaciona el tipo de estación y municipios que tienen una infraestructura para la medición de Calidad del Aire.

Autoridad Ambiental	Municipios evaluados
Estaciones de monitoreo fijas	
AMVA	Barbosa, Bello, Caldas, Copacabana, Girardota, Itagüí, La Estrella, Medellín, Sabaneta
CAM	Neiva
CAR	Cajicá, Cogua, Funza, La Calera, Madrid, Mosquera, Nemocón, Ráquira, Sibaté, Soacha, Tocancipá, Zipaquirá
CARDER	Dosquebradas, La Virginia, Pereira, Santa Rosa de Cabal
CDMB	Bucaramanga, Floridablanca
CORANTIOQUIA	Caucasia, Envigado, Medellín
CORPAMAG	Ciénaga, Santa Marta
CORPOBOYACÁ	Nobsa, Paipa, Sogamoso
CORPOCALDAS	Manizales
CORPOCESAR	Agustín Codazzi, Becerril, Chiriguaná, El Paso, La Jagua De Ibirico, Valledupar
CORPOGUAJIRA	Albania, Barrancas, Fonseca, Hato Nuevo
CORPONARIÑO	Pasto
CORPONOR	Cúcuta
CORTOLIMA	Ibagué
CRC	Popayán
CRQ	Armenia
CVC	Palmira, Yumbo
DAGMA	Cali

Autoridad Ambiental	Municipios evaluados
EPA BARRANQUILLA VERDE	Barranquilla
EPA CARTAGENA	Cartagena de Indias
SDA	Bogotá, D.C.
Estaciones de monitoreo indicativas	
CORANTIOQUIA	Amagá, Anorí, Betania, Buriticá, Caldas, Hispania, Ituango, Jardín, Nechí, San Andrés De Cuerquía, Tarazá, Valdivia, Venecia
CORNARE	Rionegro
CVS	Montería

Tabla 3.Distribución geográfica y número de estaciones de cada SVCA en Colombia. Fuente: IDEAM, informe de calidad del aire 2016

Aunque la tabla 3 nos muestra el presente aumento de la cobertura aún se encuentra 46 municipios que no cuentan con SVCA, los cuales son 10 los que deberían contar con monitoreo constante (Cúcuta, Buenaventura, Sincelejo, Riohacha, Tunja, Tuluá, Barrancabermeja, Girón, Apartado y Florencia) y 7 cuentan con un déficit de estaciones (Montería, Ibagué, Popayán, Armenia, Pasto Envigado y Soacha) se debe indicar que el contar con un SVCA no implica que la medición de calidad del aire se esté llevando a cabo de manera adecuada, esto por el número de estaciones que lo componen y la ubicación de dichas estaciones, para cumplir con los objetivos de medición.

Algunas de las dificultades con las cuales se enfrenta la autoridad ambiental en el momento de la implementación de un SVCA son problemas presupuestales, falta de personal técnico especializado, ausencia de estudios de diagnóstico y dificultades logísticas. Se encuentran municipios que a pesar de contar con el criterio poblacional y/o problemas ambientales que indique un SVCA definido con un nivel de complejidad, criterio o cantidad de estaciones según

lo dictaminado en el protocolo, no cumplen con los criterios mencionados, lo anterior se relacionara en la tabla N.4

Municipio	Población cabecera	Autoridad Ambiental	SVCA y número de estaciones actual	SVCA y número de estaciones a implementar
Montería	346873	CVS	Indicativo	Básico
Ibagué	528214	CORTOLIMA	1	3
Popayán	250043	CRC	1	2
Armenia	290189	CRQ	1	2
Pasto	371045	CORPONARIÑO	1	2
Envigado	219997	CORPOANTIOQUIA	1	2
Soacha	516435	CAR	2	3

Tabla 4, Municipios con SVCA inferior al reglamento. Fuente IDEAM, Informe de calidad del aire 2016

Se debe tener en cuenta que en la tabla N.4 la información presente allí fue recopilada del informe de calidad de aire de 2016 y aplica para el uso del reporte del IDEAM con base en la calidad del aire del 2017, puesto que no se presentaron cambios al respecto.

2.3.1. Contaminantes evaluados.

Teniendo en cuenta el informe publicado por el (IDEAM, 2016) del estado de calidad del aire y el reporte presentado, los contaminantes criterio que se monitorearon durante estos dos periodos fueron; PM_{10}, $PM_{2.5}$, CO, PST O_3, NO_2 y SO_2, debido a las implicaciones que causan las emisiones de estos contaminantes sobre la salud pública y el ambiente, el contaminante con

mayor evaluación fue el PM $_{10}$ el cual fue monitoreado en el 87,4% de las estaciones, el PM $_{2.5}$ al tener repercusiones más graves que el PM_{10} sobre la salud se monitoreo en 45 estaciones, el Ozono fue monitoreado en 44 estaciones y por último el PST y Monóxido de carbono fueron los contaminantes con menor seguimiento, siendo monitoreados en 29 y 21 estaciones respectivamente a nivel nacional. En la Figura 5, se proyecta un comparativo con base a la cantidad de estaciones que monitorearon cada uno de los contaminantes criterios antes mencionados durante los años 2016 y 2017.

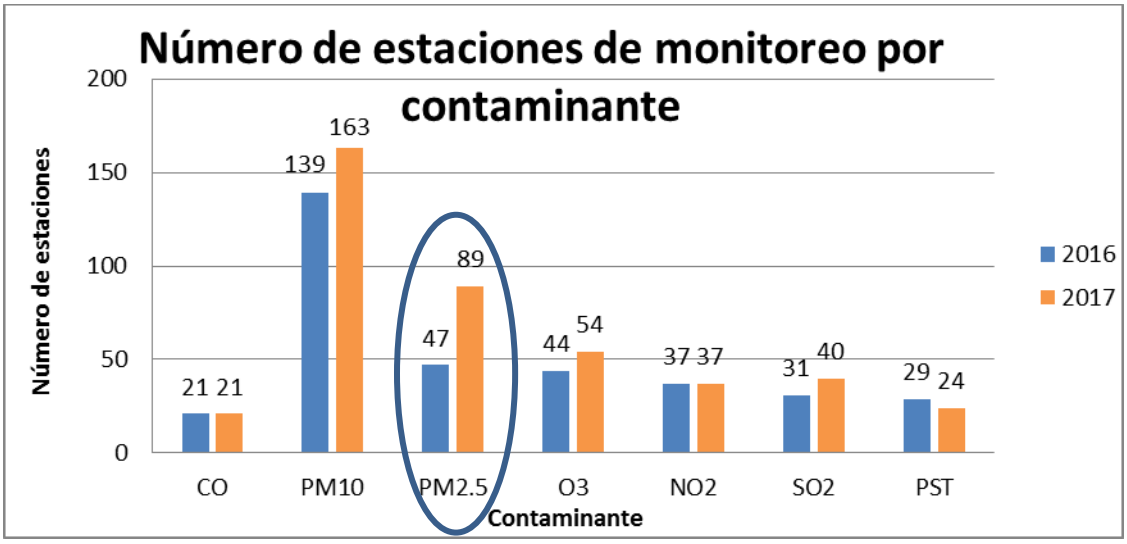


Figura 5.Número de estaciones de monitoreo por contaminante. Fuente. IDEAM. Informe de calidad del aire 2017

Según la figura N. 5 en cuanto al monitoreo de algunos de los contaminantes criterio cambió para el año 2017 en referencia a lo reportado por el IDEAM, dado que las estaciones de monitoreo de $PM_{2.5}$, aumentaron.

Uno de los cambios favorables se evidencia en el monitoreo del PM $_{2.5}$ ya que obtuvo un aumento aproximadamente del 41,83% en su monitoreo, teniendo en cuenta que para el año 2017 el contaminante fue evaluado en 89 estaciones.

2.3.2. Sistemas de vigilancia de calidad del aire.

En cuanto el informe de calidad del aire del 2016 y de acuerdo con el Decreto 600 de 1994, del artículo 5, parágrafo 2 “los laboratorios que produzcan información cuantitativa, física, química y biótica sobre estudios o análisis requeridos por las autoridades ambientales competentes, y demás que generan información de carácter oficial relacionada con la calidad del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, deberán poseer certificado de acreditación correspondiente otorgado por el IDEAM”. De conformidad con lo anterior se indica en el informe que de los 23 SVCA existentes en 2016 tan solo 2 estaban acreditados por el IDEAM, los cuales fueron CORPOGUAJIRA y CORPOCESAR, por lo cual se garantizó la competencia técnica y la idoneidad de la institución para el desarrollo de una serie de funciones específicas según los criterios establecidos, de esta manera se respaldó el procesamiento de datos e información físico química reportado por el SVCA cumpliendo con los estándares y criterios de calidad.

2.3.3. Cobertura temporal de la informacion reportada.

Es el grado de representatividad de criterios o características de una población, la condición ambiental o la variación de parámetros de los datos en cada una de las estaciones que pueden hacer un aportar de manera exacta y precisa, lo mencionado anteriormente se puede ver relacionado directamente en la cantidad de datos validos reportados por una estación y la cantidad de datos ideales que deberían obtenerse en condiciones normales de operación (IDEAM, 2016), de acuerdo con el Manual de Operaciones de Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire, la cantidad de datos validos reportados por cada estación debe ser superior al 75% del

ideal de datos, para lograr realizar la comparación con la normativa y el cálculo de parámetros estadísticos.

En referencia con lo anterior, para el año 2016 de las 142 estaciones fijas con las que se contaba, tan solo 68 cumplieron con el criterio de representatividad temporal en al menos uno de los parámetros que se monitoreaba, en la tabla N.5 se evidencian las estaciones que cumplieron con más del 75% de datos validos durante su operación.

Autoridad ambiental	Estaciones con representatividad
AMVA	18
CAR	4
CORPAMAG	3
CORPOBOYACÁ	3
CORPOCESAR	17
CORTOLIMA	1
CVC	1
DAGMA	8
EPA Cartagena	2
SDA	11

Tabla 5.Estaciones con representatividad temporal superior al 75% por SVCA. Fuente IDEAM. Informe calidad del aire 2016.

El informe reporta que de acuerdo con la representatividad que obtuvo cada estación con base al contaminante monitoreado; en cuanto a $PM_{2.5}$ tan solo cumplió el 38% frente al histórico de representatividad temporal registrado por el IDEAM desde el año 2011 hasta el 2016, Figura 6, se observa una disminución respecto a los anteriores años, por lo cual se recomienda un proceso de renovación de equipos, reforzar el personal técnico calificado, encargado de realizar el Monitoreo y seguimiento de la calidad del aire.

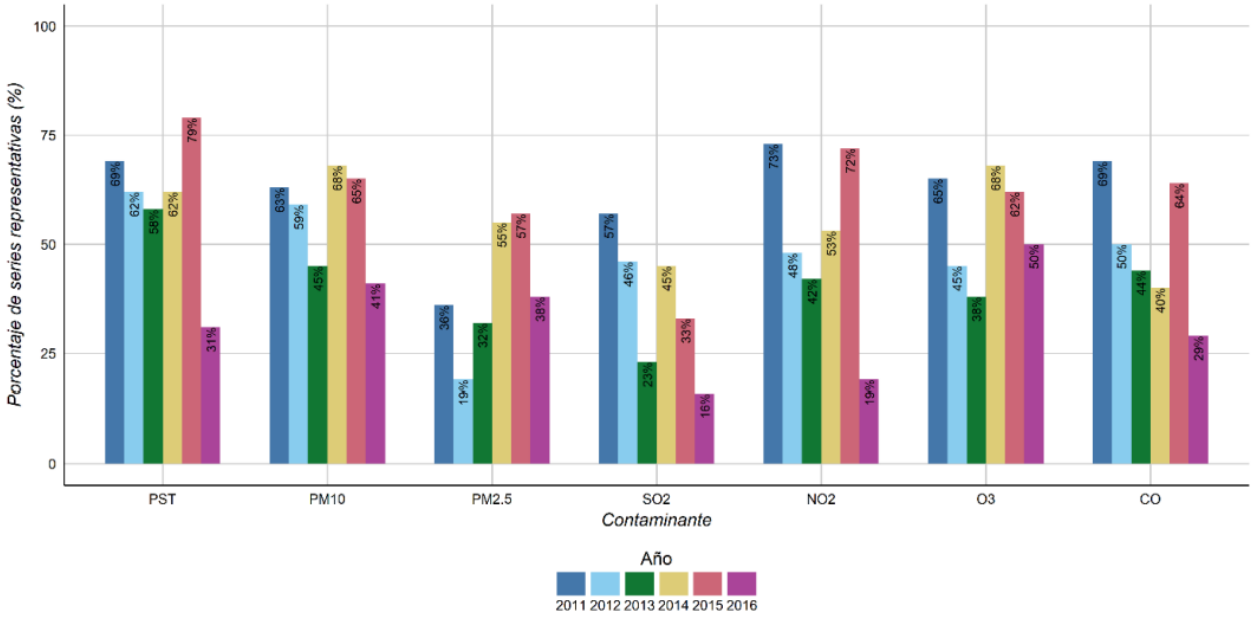


Figura 6. Evolución del número de estaciones con representatividad temporal superior al 75% por contaminante en el periodo 2011-2016. Fuente IDEAM. Informe calidad del aire 2016

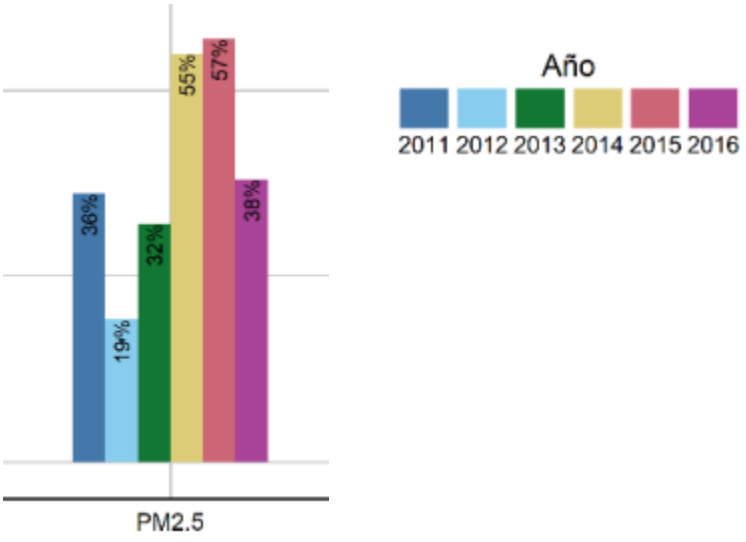


Figura 7. Evolución del número de estaciones con representatividad temporal superior al 75% de PM $_{2.5}$ en el periodo 2011-2016 Fuente IDEAM. Informe calidad del aire 2016

Con referencia a la disminución de representatividad de datos mencionada en la figura 6, el reciente reporte del año 2017 tubo cambios favorables, siendo en la mayoría de casos positivos en cuanto a este criterio en general, pero para PM $_{2.5}$ al contrario fue el unico contaminante que

disminuyo ya que solo el 26% de las estaciones que evaluaron PM $_{2.5}$ cumplieron con el minimo de datos validos, lo anterior mencionado se muestra en la figura 8.

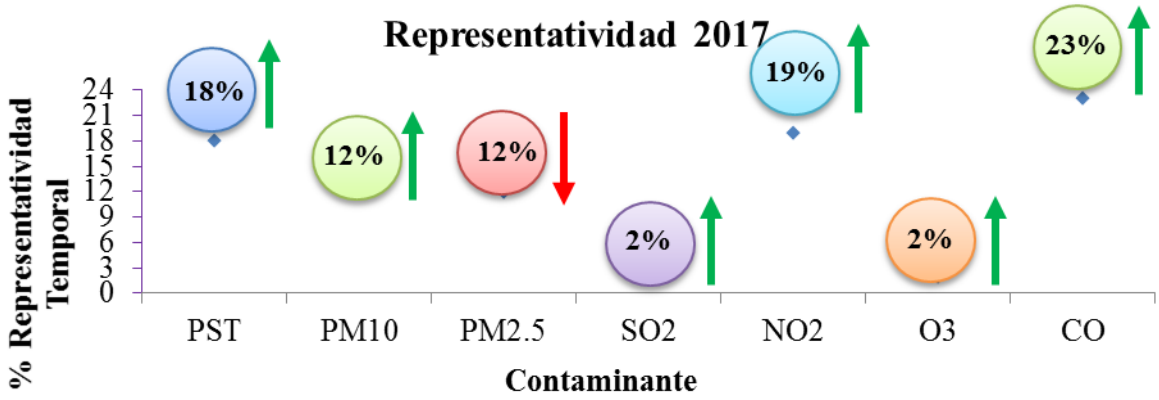


Figura 8. Evolución del número de estaciones con representatividad temporal superior al 75% por contaminante en el 2017 Fuente IDEAM. Informe calidad del aire 2017

Las mejoras propuestas que se mencionan en el reciente reporte del Informe de Calidad del Aire del 2017 por el IDEAM, las falencias identificadas y las medidas que se tomaron para la solución de estas Se muestran en la figura 9

Figura 9. Medidas para mejorar la representatividad temporal. Fuente IDEAM. Informe calidad del aire 2017

2.3.4. Tecnologia empleada por los SVCA en 2017.

Una de las medidas para garantizar una adecuada representatividad de la información reportada por la Autoridad Ambiental, es el uso de la tecnología apropiada para los objetivos establecidos, por lo cual el emplear tecnologías de tipo automático garantiza en primera medida concentraciones en tiempo real, o en el tiempo máximo de 1 hora permitiendo implementar estrategias de descontaminación y uso de las acciones cuando se presentan niveles de concentraciones que generen episodios de prevención, alerta y emergencia. Las diferentes administraciones de las Autoridades Ambientales tienen instalado un número de equipos que permiten conocer el estado de calidad del aire de las diferentes zonas en las cuales se está monitoreando, contando con 87 equipos de tipo automático que corresponde al 42,64% del total, 100 equipos semiautomáticos que corresponden al 49,01% y 17 equipos manuales que representan el 8,33% lo importante es saber que al realizar, mediciones con equipos automáticos que pueda ser relativamente de un costo elevado, la calidad de la información es más confiable.

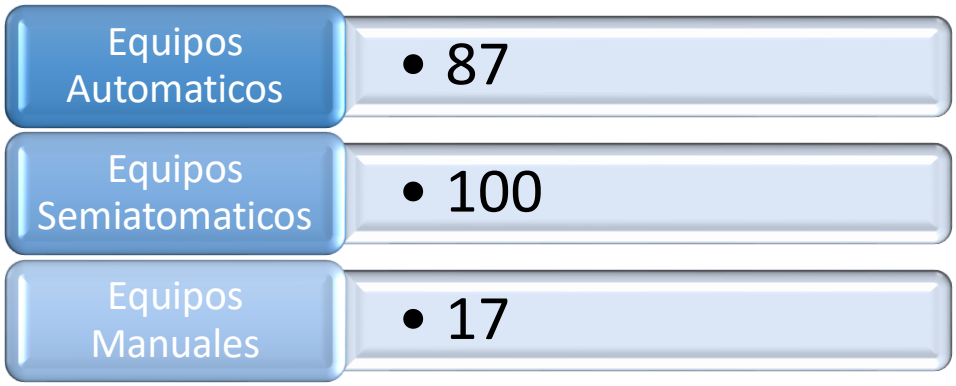


Figura 10. Tecnologías implementadas. Fuente, Informe de calidad del aire 2017. IDEAM

2.4.NORMATIVIDAD APLICABLE.

2.4.1. Normatividad distrital.

La Secretaria Distrital de Ambiente formulo politicas y normativas distritales con el fin de regular los recursos naturales y la calidad del ambiente como se referencia en la figura 10 y 11, en relacion con la calidad del aire de Bogotá no se habian tomado medidas de control especificas hasta el 2006 que se reglamento en el decreto 417 con el fin de reducir la contaminacion del aire, en el 2011 con el decreto 596 se adopta la politica distrital de salud ambiental que establece instrumentos normativos para las acciones de prevencion, promocion y control con el fin de mejorar la calidad de vida de los habitantes de la capital.[1-2]

[1] Tomado y adaptado de las políticas Distritales, Elaborado por muñoz 2018
[2] Tomado y adaptado de la normativa Distrital, Elaborado por muñoz 2018

POLÍTICAS DISTRITALES

Política Pública Distrital de Protección y Bienestar Animal

Ha sido formulada en el marco de un proceso participativo y de diálogo conjunto con actores académicos, institucionales, comunitarios y de organizaciones sociales, como el instrumento que orienta el desarrollo de las acciones a implementar, en procura de otorgar a los animales escenarios de vida óptimos, de acuerdo a sus necesidades y requerimientos, a partir de la apropiación de una cultura ciudadana e institucional comprometida con la protección y el bienestar integral de los animales y la convivencia ciudadana en torno a su existencia.

Política para Gestión de la Conservación de la Biodiversidad

Fortalecimiento de la gestión de la conservación en escenarios urbanos y rurales, buscando maximizar las condiciones de habitabilidad y sustentabilidad del Distrito Capital y el territorio circundante.

Política para el Manejo de suelo de Protección en el D.C.

Consolidar la gestión sobre el suelo de protección, como parte integral del ordenamiento territorial del Distrito Capital en todas las clases de suelo, a las formas más convenientes para el cumplimiento de sus funciones, asegurando su apropiación colectiva

Política Pública Distrital de Educación Ambiental

Busca consolidar una ética ambiental en el Distrito Capital, que exprese el compromiso y la vivencia del conjunto de la sociedad, generando condiciones para la eficacia de la gestión, la cualificación e inclusión de los ámbitos de la educación ambiental, de tal manera que este proceso contribuya a armonizar las relaciones entre seres humanos y entre estos con el entorno natural, en el marco del desarrollo humano integral.

Política de Humedales del Distrito Capital

La política de Humedales como un acuerdo público entre los distintos actores sociales, en torno a la conservación de los humedales como ecosistemas estratégicos.

Política Pública Distrital de Ruralidad

Es una herramienta de gestión del Distrito Capital para el ordenamiento ambiental sostenible de su territorio y la superación de la exclusión de su población, en procura de una articulación armoniosa de las diversas dinámicas de una ciudad metropolitana y capital del país y una zona rural dotada de un gran patrimonio ambiental y ecológico de suma importancia para la ciudad, el conjunto de la región y el país.

Política de Producción Sostenible para Bogotá D.C

La Secretaría Distrital de Ambiente se encuentra en desarrollo de la fase de la Agenda Pública con miras a generar el documento de diagnóstico e identificación de factores estratégicos que aporte a la construcción para la formulación de la Política Distrital de Producción y Consumo Sostenible.

Figura 11. Políticas Ambientales Distritales. Fuente secretaria distrital de ambiente http://ambientebogota.gov.co/de/politicas-ambientales-del-d.c

A continuación en la figura 12 se relacionan las Normativas Distritales, en cuanto a calidad del aire.

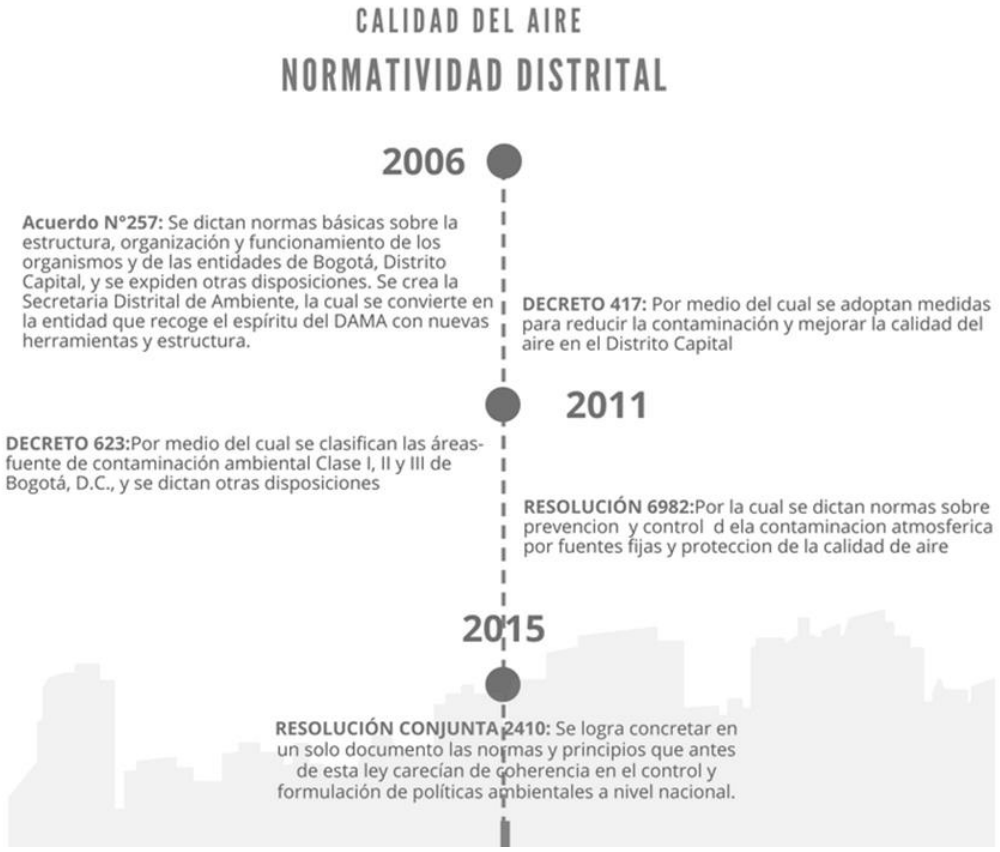


Figura 12. Normativas Distritale.. Fuente Tomado y adaptado de la normativa Distrital, Elaborado por muñoz 2018

2.4.2. Normativa nacional.

A nivel nacional Colombia cuenta con diversas Políticas Ambientales, con el fin de garantizar la sostenibilidad ambiental y la calidad de vida, regulando y controlando el uso de los recursos naturales (ver figura 14 [3]), con relación a calidad del aire se estableció la política de prevención y control de la calidad del aire con el fin de mejorar la calidad del aire para proteger la salud y bienestar de los habitantes.

[3] Tomado y adaptado de las políticas ambientales. Elaborado por J.Muñoz 2018

Política Nacional de investigación ambiental

Fortalecer la capacidad nacional y regional que impulse la generación y utilización oportuna de conocimientos relevantes para el desarrollo sostenible, para lograr el mejoramiento la calidad ambiental y las condiciones de vida de la población colombiana, conforme a la diversidad natural y cultural del país y en armonía con la Política Nacional Ambiental.

Política Nacional ambiental desarrollo sostenible espacios oceánicos y zonas costeras e insulares de Colombia

Política Nacional de educación ambiental

Política de participación social en la conservación

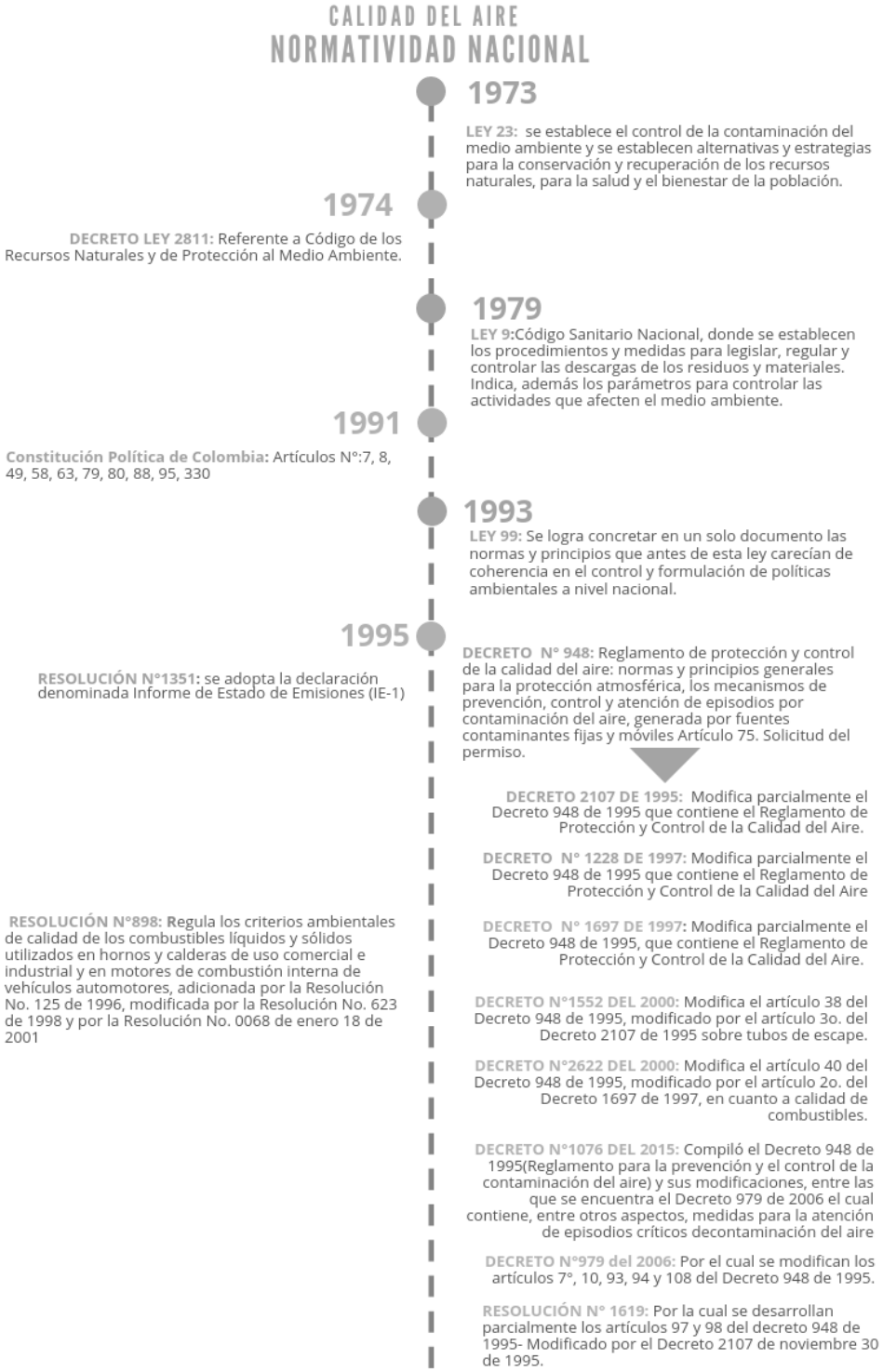
Fortalecer la capacidad de la Unidad de Parques Nacionales para promover y consolidar procesos de participación social y coordinación interinstitucional para la conservación de la biodiversidad, de los servicios ambientales de las áreas protegidas y de la diversidad cultural del país.

Política para el desarrollo del ecoturismo

Fortalecer y diversificar la actividad ecoturística, teniendo como referente esencial su desarrollo sostenible, en razón del cual ésta debe propender por el uso racional de los recursos, el mejoramiento de la calidad de vida de los pobladores residentes en las regiones y el permanente esfuerzo para proporcionar una oferta competitiva de servicios, en armonía con la diversidad ecológica y cultural.

Figura 13. Políticas Ambientales Nacionales. Fuente. Tomado y adaptado de las políticas ambientales. Elaborado por J.Muñoz 2018

En la figura 14[4], se relacionan las Normativas Ambientales en cuanto a Calidad del aire a nivel nacional y sus modificaciones.



1996

RESOLUCIÓN N°005: Se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes producidos por fuentes móviles terrestres a gasolina o diesel, y se definen los equipos y procedimientos de medición de dichas emisiones y se adoptan otras disposiciones.

RESOLUCIÓN N°909 de 1996: Modifica parcialmente la Resolución No. 005 de 1996 que reglamenta los niveles permisibles de emisión de contaminantes producidos por fuentes móviles terrestres a gasolina o diesel, y se definen los equipos y procedimientos de medición de dichas emisiones y se adoptan otras disposiciones.

RESOLUCIÓN N°125: Adiciona la Resolución 898 de agosto de 1995 en la que se regulan los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna de vehículos automotores.

RESOLUCIÓN N°864: Por la cual se identifican por vía general los equipos de control ambiental que dan derecho al beneficio tributario.

1997

RESOLUCIÓN N°528: Prohibe la producción de refrigeradores, congeladores y combinación de refrigerador- congelador, de uso doméstico, que contengan o requieran para su producción u operación Clorofluorocarbonos (CFCs), y se fijan requisitos para la importación de los mismos.

RESOLUCIÓN N° 441: Revoca el artículo 2o. de la Resolución No. 1619 de 1995. Por consiguiente para fuentes fijas sigue vigente lo consagrado en el artículo 137 del Decreto 948 de 1995.

RESOLUCIÓN N° 619: Establece parcialmente los factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas

1998

RESOLUCIÓN N°415: Establecen los casos en los cuales se permite la combustión de los aceites de desecho y las condiciones técnicas para realizar la misma.

RESOLUCIÓN N°1446 del 2005: Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 415 del 13 de marzo de 1998, que establece los casos en los cuales se permite la combustión de aceites de desecho o usados y las condiciones técnicas para realizar la misma.

1999

RESOLUCIÓN N° 237: Fijan las condiciones de expedición del Certificado de Emisiones por Prueba Dinámica para los importadores que adquieren los vehículos o el material de ensamble de los mismos, directamente de la casa matriz o la firma propietaria del diseño.

RESOLUCIÓN N° 1048: Fijan los niveles permisibles de emisión de contaminantes producidos por fuentes móviles terrestres a gasolina o diésel, en condiciones de prueba dinámica, a partir del año modelo 2001.

RESOLUCIÓN N° 236: Fija las condiciones de expedición del Certificado de Emisiones por Prueba Dinámica para los importadores que no adquieren los vehículos directamente de la casa matriz o la firma propietaria del diseño.

Ley N° 491: Por la cual se establece el seguro ecológico, se modifica el Código Penal y se dictan otras disposiciones.

2001

RESOLUCIÓN N° 0068: Modifica parcialmente la resolución No. 898 de 1995, adicionada por la resolución No. 125 de 1996 y modificada por la resolución No, 623 de 1998, que regula los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas de uso comercial e industrial y en motores de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna de vehículos automotores.

2002

RESOLUCIÓN N°058:: Establecen normas y límites máximos permisibles de emisión para incineradores y hornos crematorios de residuos sólidos y líquidos.

RESOLUCIÓN N°886 de 2004: Por medio del cual se modifica parcialmente la Resolución N° 0058 del 2002 y otras disposiciones

2005

RESOLUCIÓN N° 0532 Obligaciones para la realización de quemas abiertas controladas en áreas rurales en actividades agrícolas y mineras

RESOLUCIÓN N° 3500: Por la cual se establecen las condiciones mínimas que deben cumplir los Centros de Diagnóstico Automotor para realizar las revisiones técnico-mecánica y de gases de los vehículos automotores que transiten por el territorio nacional.

2006

DECRETO 244: Por el cual se crea y reglamenta la Comisión Técnica Nacional Intersectorial para la Prevención y el Control de la Contaminación del Aire, Conaire.

DECRETO 2570: Por el cual se adiciona el Decreto 1600 de 1994 y se dictan otras disposiciones, respecto a aceptación de información de laboratorios que se encuentre inscritos al proceso de acreditación al IDEAM

RESOLUCION 601: Se establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión para todo el territorio nacional en condiciones de referencia y establecer la concentración y el tiempo de exposición de los contaminantes para cada uno de los niveles de prevención alerta y emergencia. rigió hasta el 31 de diciembre del 2017. la parte de PST sigue vigente.

RESOLUCIÓN N°610: Modifica a la resolución 601 del 2006

2007

RESOLUCIÓN N° 18 2087 Establece los combustibles limpios y los límites máximos de emisión permisibles en prueba dinámica para los vehículos que se vinculen a la prestación del servicio público de pasajeros. Suscrita con los Ministerios Minas y Energía, de Salud y Protección Social

2008

Ley 1205: Por medio de la cual se mejora la calidad de vida a través de la calidad del diésel

RESOLUCIÓN N°909:: Niveles de emisión de contaminantes que deberá cumplir toda la industria en el país

RESOLUCIÓN N°1309 DEL 2010: Modifica la Resolución 909 del 5 de junio de 2008"

RESOLUCIÓN N°802 de 2014 Por la cual se modifica la Resolución número 909 de 2008 y se adoptan otras disposiciones

RESOLUCIÓN N°910: Niveles permisibles de emisión de contaminantes para fuentes móviles

2009

RESOLUCIÓN N° 2604: Establece los combustibles limpios y los límites máximos de emisión permisibles en prueba dinámica para los vehículos que se vinculen a la prestación del servicio público de pasajeros. Suscrita con los Ministerios Minas y Energía, de Salud y Protección Social

2010

RESOLUCIÓN N°650: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT.por la cual se adopta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire.

RESOLUCIÓN N°651: Se crea el Subsistema de Información sobre Calidad del Aire – SISAIRE

RESOLUCIÓN N°2448: Se adoptan los métodos de referencia de medición de contaminantes para el cumplimiento de la Resolución número 610 de 2010.

RESOLUCIÓN N°760 DEL 2010: Modificada por la Resolución del Min. Ambiente 2153 de 2010

RESOLUCIÓN N°2153: Se ajusta el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, adoptado a través de la Resolución 760 de 2010 y se adoptan otras disposiciones

RESOLUCIÓN N°1632 del 2012 :Se adiciona el numeral 4.5 al Capítulo 4 del Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas,

RESOLUCIÓN N°1807 del 2012 :Se adiciona el numeral 4.5 al Capítulo 4 del Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas,

RESOLUCIÓN N°2154: Por la cual se ajusta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire adoptado a través de la Resolución 650 de 2010 y se adoptan otras disposiciones

2011

RESOLUCIÓN N° 0935: Se establecen los métodos para la evaluación de emisiones contaminantes por fuentes fijas y se determina el número de pruebas o corridas para la medición de contaminantes en fuentes fijas.

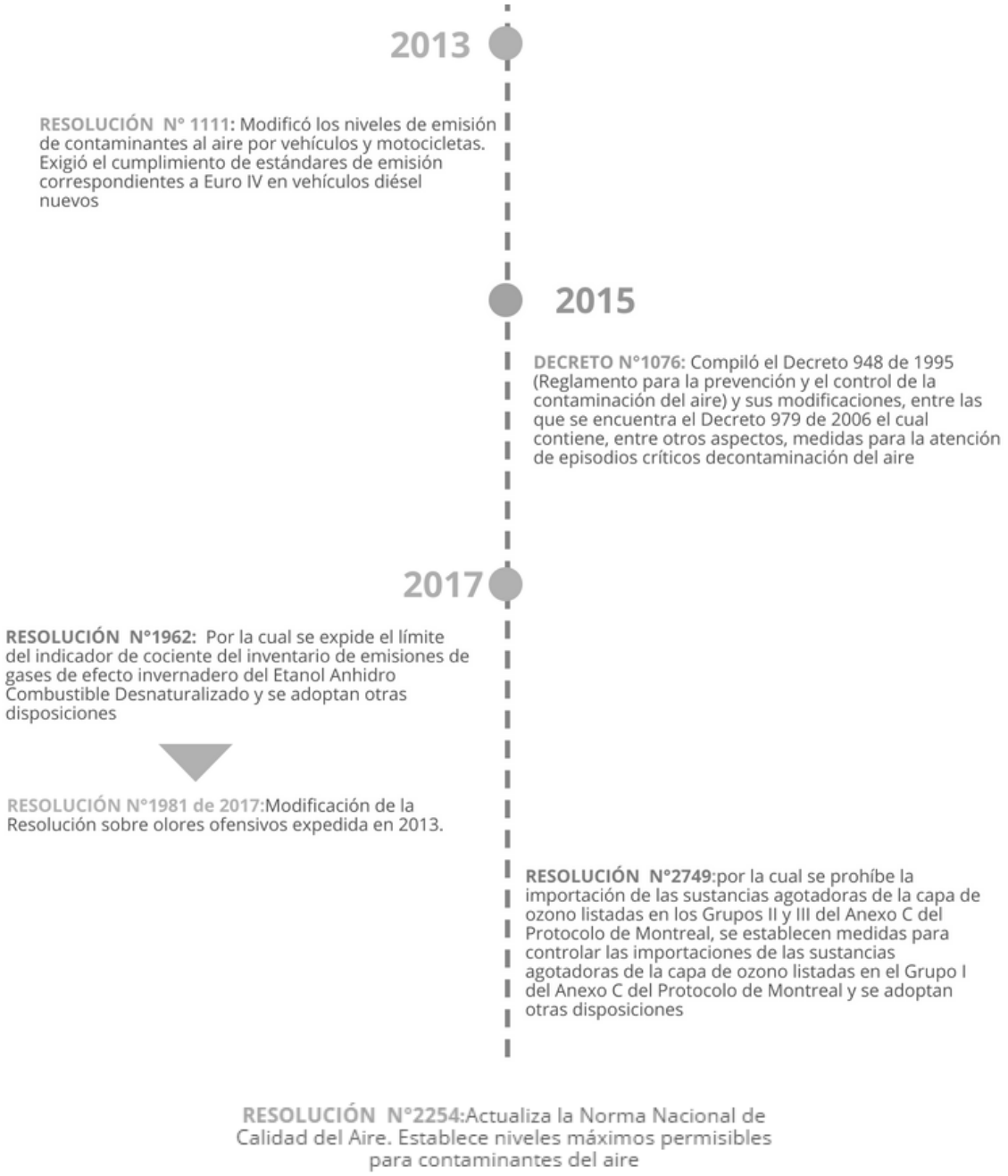


Figura 14 Calidad del aire normatividad nacional

La normativa vigente para el territorio nacional de calidad del aire es la Resolución 2254 de 2017; en esta se establecen los límites máximos permisibles para contaminantes entre estos el $PM_{2.5}$, la resolución tiene en cuenta el tiempo de exposición 24 horas y Anual, los LMP de la

concentracion de PM $_{2.5}$ se reduciran el 1 de julio de 2018 y el 1 de enero de 2030, lo anterior se relaciona en la tabla 6[4].

Contaminante	Nivel máximo permisible	Tiempo de exposición
1 de Enero de 2018		
PM $_{2.5}$	50 µ/m^3	24 horas
	25 µ/m^3	Anual
1 de Julio de 2018		
PM $_{2.5}$	37 µ/m^3	24 horas
	25 µ/m^3	Anual
1 de Enero de 2030		
PM $_{2.5}$	37 µ/m^3	24 horas
	15 µ/m^3	Anual

Tabla 6. Limites máximo permisible para PM $_{2.5}$, Fuente. Res. 2254 de 2017.

La resolución establece valores de estado de excepción, Tabla 7, en cuanto a prevención, alerta y emergencia según la concentración del PM $_{2.5}$ que se encuentre en el aire; estos valores se toman a partir de una media móvil de 24 horas.

Contaminante	Tiempo de exposición	Estados de excepción		
		Prevención	**Alerta**	**Emergencia**
PM $_{2.5}$	24 horas	38-55	56-150	≥151

Tabla 7. Estados de prevención, alerta y emergencia para PM $_{2.5}$ Res. 2254 de 2017.

El índice de calidad de aire ICA, también se encuentra en la resolución 2254 de 2017, tabla 8 , y se determina a partir de una ecuación que da un valor adimensional que ayuda a indicar el tipo de

[4] Tomado y adaptado de la Resolución 2254 de 2017

categoría que se presenta en un momento determinado y cuál es el efecto que produce la concentración que están reportando los equipos de medición, esta clasificación oscila en concentración desde los 0 µ/^{m3} hasta los 500 µ/^{m3} clasificándose en las categorías desde Buena, identificado con color verde, amarillo aceptable, naranja dañina a la salud de grupos sensibles, rojo dañina para la salud, purpura muy dañina para la salud y marron Peligrosa.

PM $_{2.5}$, ICA Resolución 2254 de 2017				
INDICE	**COLOR**	**CATEGORIA**	**$PM_{2.5}$ (µg/m^3) 24 horas**	**Efectos**
0-50	Verde	Buena	0 – 12	La contaminación atmosférica supone un riesgo bajo para la salud
51- 100	Amarrillo	Aceptable	13 – 37	Posibles síntomas respiratorios en grupos poblacionales sensibles
d101-150	Naranja	Dañina a las salud de grupos sensibles	38 - 55	Los grupos poblacionales sensibles pueden presentar efectos sobre la salud Material Particulado: las personas con enfermedad cardiaca o pulmonar, los adultos mayores y los niños se pueden considerar sensibles y por lo tanto en mayor riesgo
151- 200	Rojo	Dañina para la salud	56 - 150	Todos los individuos pueden empezar a experimentar efectos sobre la salud. Los grupos sensibles pueden empezar a experimentar efectos más graves para la salud.
201-300	Purpura	Muy dañina para la salud	151 - 250	Estado de alerta que significa que todos pueden experimentar efectos más graves para la salud.
301-500	Marrón	Peligroso	251 - 500	Advertencia sanitaria. Toda la población puede experimentar efectos adversos graves en la salud y están propensos a verse afectados por graves efectos sobre la salud

Tabla 8. ICA para PM $_{2.5}$. Fuente. Res. 2254 de 2017.

2.4.3. Normativa internacional.

La mayoría de los países cuentan con su propia normatividad de calidad del aire en cuanto a $PM_{2.5}$, sin embargo los que no cuentan con una normatividad se rigen por lo establecido en la OMS, Unión Europea, EE,UU, NAAQS o el ICA, los LMP en cuanto a $PM_{2.5}$ se pueden observar en la figura 15[5].

[5] Autoría propia, tomado de la OMS, UE y EEUU.

ICA	COLOR	CLASIFICACIÓN	$PM_{2.5}$ 24h µg/m³
0 - 50	Verde	Buena	0 12
51 - 100	Amarillo	Moderada	12.1 35.4
101 - 150	Naranja	Dañina a la salud para grupos sensibles	35.5 55.4
151 - 200	Rojo	Dañina a la salud	55.5 150.4
201 - 300	Púrpura	Muy Dañina a la salud	150.5 250.4
301 - 400	Marrón	Peligrosa	250.5 350.4
401 - 500	Marrón	Peligrosa	350.5 500.4

Tabla n°1 . Puntos de Corte ICA, Calidad del Aire en el valle de Aburrá*
*http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/Paginas/ICA1.aspx

ICA - indice de la calidad de aire

El índice de calidad del aire es un indicador diseñado para informar a la población sobre el estado de la calidad del aire, muestra que tan contaminado se encuentra el aire y cuales podrían ser los efectos en la salud. (CDMX,2017)

Figura 15. Norma internacional. Fuente Autoras

Lo ideal es que los niveles de concentración sean lo más bajo posible debido a la influencia que tiene PM $_{2.5}$ en la mayoría de enfermedades respiratorias, un ejemplo de ello es la Unión Europea, "donde las concentraciones de PM de muchas ciudades cumplen los niveles fijados en las Directrices, se estima que la exposición a partículas de origen antropogénico reduce la esperanza media de vida en 8,6 meses" [6].

De acuerdo a lo anterior se consultaron las normativas que regulan la calidad de aire en cuanto a los límites máximos permisible para PM $_{2.5}$ en países como México, Brasil, Uruguay, Bolivia, Costa Rica, Ecuador, Perú, Paraguay, Chile y Argentina, con el fin de establecer cuáles son los límites máximos permisibles que maneja cada país en pro de llegar a cumplir la meta propuesta

[6] Calidad del Aire y Salud. OMS. http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health

por la OMS y también comparar con lo establecido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, lo anterior se refleja en la figura 16[7] .

Figura 16. Mapa normatividad internacional. Fuente Autoras

[7] Autoría propia, datos tomados de las normativas en cuanto a Calidad del Aire de cada país

Para comparar los LMP de cada país se realizó la siguiente figura.

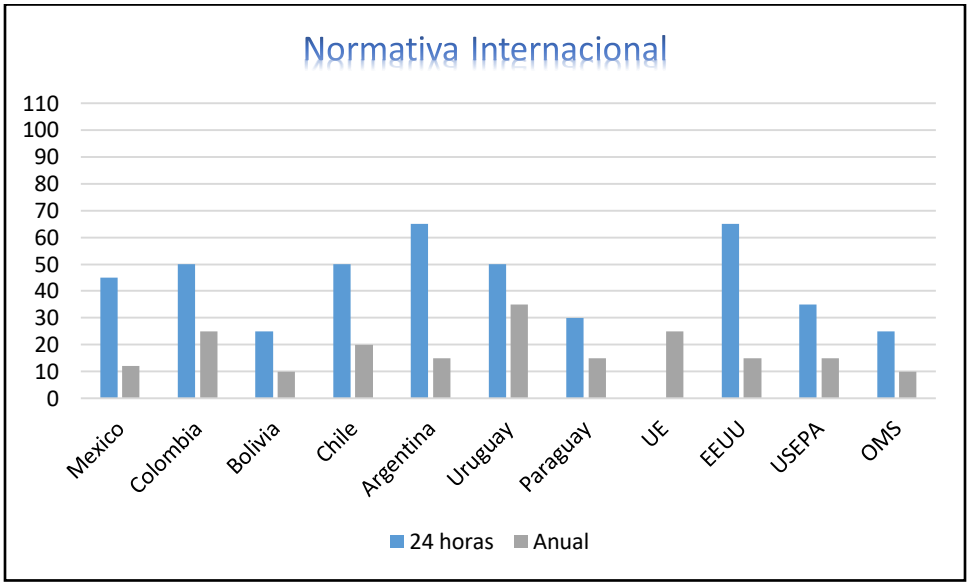


Figura 17. Comparación LPM por cada país. Fuente Autoras

La normatividad de Colombia y Perú fueron modificadas en el 2017 con los mismos LMP, en Junio del 2018 comenzo a regir para un tiempo de exposicion de 24 horas niveles maximos de 37µg/m³, pero en general todas las normas son de años recientes, menos la de Chile que es del 2003, Chile cuenta con múltiples normativas y programas de calidad del aire en todo su territorio, sin embargo no se cuenta con leyes que las englobe. Uno de los países de América con los niveles más altos de concentración es México, este país cuenta con una amplia normatividad sobre calidad del aire con el propósito de reducir sus emisiones, incluso fue uno de los países que fundó la Coalición del Clima y Aire Limpio en 2012[8] .

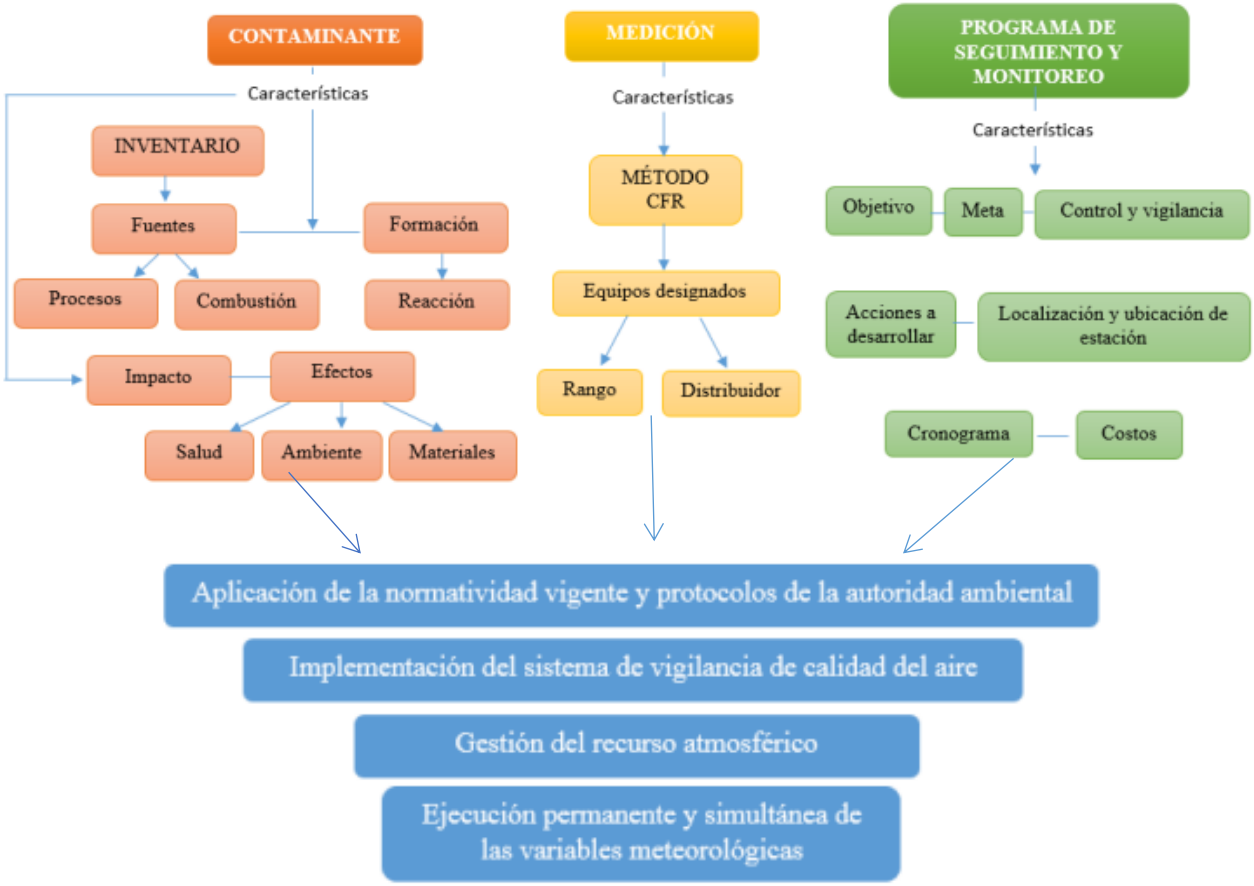
Países como Costa Rica no cuentan con normatividad para los LMP de $PM_{2.5}$ por lo tanto se basan en los LMP establecidos por la OMS, Brasil un país de America con gran población y territorio no cuenta con normatividad para $PM_{2.5}$, incluso su normatividad de calidad del aire es

[8] CONTROLANDO LOS CONTAMINANTES CLIMÁTICOS DE VIDA CORTA. http://www.aida-americas.org/sites/default/files/featured_pubs/reporte_ccvc_resumen.pdf

del año 1990, la cual está en proceso de actualización, São Paulo y Espíritu Santo han dictado regulaciones locales para $PM_{2.5}$. El país con LMP mínimos es Bolivia los cuales son los mismos recomendados por la OMS.

3. METODOLOGIA.

En la figura 18 se describe la metodología, la cual está divida por tres colores que representan las partes fundamentales que componen este docuemento, de color naranja el significado y la problematica del contaminante, de color amarillo la medición del contaminante de acuerdo al a normatividad vigente y por último en color verde la elaboración de la ficha del progama de seguimiento y monitoreo de calidad del aire para $PM_{2.5}$, esto con el fin de realizar los cuatro items de color azul.



CONTAMINANTE

Todo proceso de evaluación de calidad del aire inicia con la identificación del contaminante y de las fuentes que lo generan, si es un contaminante primario o secundario. Por esta razón es fundamental saber si la emisión proviene de fuentes de combustión o procesos y para este último se puede saber mediante el tipo de materia prima, insumo y reacciones que el contaminante genera y emite, mientras que el de combustión son las características y tipo de combustible.

El protocolo de Emisión y la Resolución 909 de 2008 establecen el tipo de contaminante que emite cada proceso productivo, ademas cada actividad de infraestructura posee unos términos de referencia donde establecen según las consideraciones de emisión cuales podrían ser los posibles agentes contaminantes que se medirán en la calidad del aire.

MEDICIÓN

La medición en la calidad del aire se puede hacer mediante técnicas de tipo pasivo, activo, automático y sensores remotos.

Lo primero es utilizar el equipamiento necesario calibrado y/o verificado, sin fugas y en buen estado. Dependiendo del tipo de medición y contaminante a medir, el equipo debe estar dentro del listado designado por la EPA o en su defecto por la UE y haber sido fabricado por una empresa reconocida a nivel mundial. Posteriormente tenemos las técnicas de laboratorio cuando se usan soluciones o filtros para absorber o retener el contaminante o las empleadas por los equipos de medición, cada una de ellas presenta unas especificaciones técnicas que deben cumplirse en su totalidad desde el procesos de calibración y toma de datos, especificaciones de los medios reactivos y soluciones que se emplearan para la determinación de la masa del contaminante. Los CFR establecen los procedimientos que se deben adoptar para la medición de cada contaminante y de esta manera poder garantizar una representatividad de los resultados. Entre los aspectos que se deben tener en cuenta para la medición tenemos la aplicabilidad, el principio de medición, rango de concentración a diferentes tiempos de succión, interferencias, precisión y exactitud, estabilidad, aparatos o equipos de muestreo, envío de muestras, análisis de laboratorio, reactivos a emplear, procedimiento de muestreo, calibración analítica, preparación de muestreo, análisis y cálculos.

PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO

El monitorear la calidad del aire no es una tarea de instalar un equipo e iniciar su funcionamiento y reporte de concentraciones, si no que se debe tener claro cual es el objetivo y el porque se esta midiendo en un lugar (es) especifico (s) ayudado de la información meteorologica para poder ubicar el inlet en el sitio más adecuado, donde sus concentraciones sean validas, se puedan compara con los límites maximos permisibles , enviar y comunicar sobre los estados de comportamiento (prevención, alerta y emergencia) tomar medidas para disminuir los niveles de emisión, identificar las causas de la contaminación y proyectar investigaciones para su reducción, entre otros.

Para esto es fundamental que los diseños de los SVCA que se implementan posean un programa de seguimiento y monitoreo que permita tener un control de todas las acciones que se deben contemplar para ejecutar la medición.

No es identificar si un dato es válido o no, para eso están los procedimientos específicos que se elaboran o los manuales de los equipos, esto va más allá, es hacer un seguimiento al sistema en general en cuanto al cumplimiento de los objetivos, el poder identificar la necesidad de modificar, cambiar o adicionar un equipo de medición y el poder tomar decisiones de inmediato y el desarrollo de acciones a corto plazo, elaboración de planes a mediano plazo y montaje de planes a largo plazo y de esta manera ver si las decisiones o implementaciones han tenido éxito o en su defecto se podrían replantear.

Figura 18. Metodología. Fuente J. Murad 2018

4. RESULTADOS.

4.1.FUENTES E INVENTARIOS DE EMISION.

4.1.1. Actividades Industriales.

En la figura 19 se presenta todas las actividades industriales en las cuales según la resolución 909/2008 se debe hacer monitoreo de Material Particulado (M.P). Esta resolución alude a tipo de emisión, por la cual el artículo 6 establece las actividades industriales y contaminantes a monitorear por cada actividad; no habla de calidad del aire, pero se toma en cuenta ya que es importante conocer las actividades industriales que pueden llegar a generar $PM_{2.5}$ sin embargo, se corrobora únicamente al realizar la medición pertinente

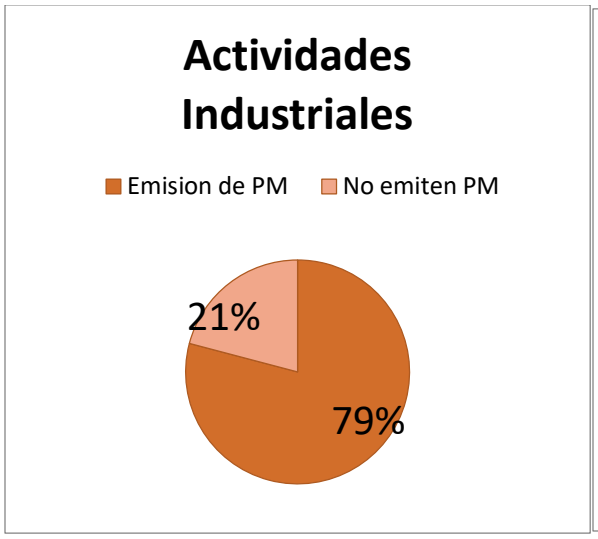
- Procesamientos de Asfalto y Producion de Productos de Asfalto
- Fundicon de Acero
- Manufactura del Acero para Uso Estrutural

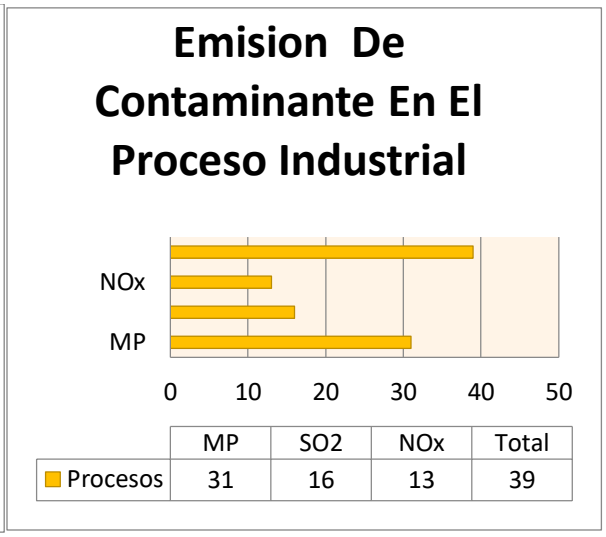
- Producción de llantas y cámara de caucho natural y sintético.
- Producción de mezclas asfálticas.
- Fundición de cobre.
- Fundición de bronce y latón.
- Fundición de plomo.
- Fundición de zinc.
- Producción de cal.

Figura 19 Actividades industriales material particulado. Fuente. Resolución 909/2008

Algunas actividades industriales tienen mas de un subproceso, aunque para alguno de estos no se mide material pariculado igual se tiene en cuenta la actividad, para analizar el total de los procesos en comparacion con la medicion de MP se observa en la figura N.20 los porcentajes

que miden material particulado y las que no, en la que se puede deducir que MP es un contaminate con una importante influencia en la contaminancion del aire.





	MP	SO2	NOx	Total
Procesos	31	16	13	39

Figura 20. Actividades industriales. Fuente .Autoras *Tabla 9. Actividades industriales. Fuente. Autoras*

Se puede observar que de las 39 actividades industrias, 31 requieren el monitoreo para MP, el doble de los otros contaminantes, debido a que la mayoria de las industrias en sus procesos generan estas particulas, el siguente con mayor incidencia es el gas NOx y por ultimo es el SO2; basados en la resolucion 909 del 2008 se escogieron estos contamientes por ser los mas generados en los procesos industriales mencionados en la tabla N.10, aun asi el MP es el fundamental a monitoriar en dichas actividades.

4.1.2. Actividades terminos de referencia.

En la tabla 10 se centran en los términos de referencia, que la autoridad ambiental señala para la elaboración de estudios de impacto ambiental (EIA) y diagnóstico ambiental de alternativas (DAA) relacionado con el contaminante de $PM_{2.5}$ en calidad del aire, para solicitud de licencias ambientales dependiente de la actividad.

Actividades	Generalidades	Especificaciones
● Plaguicidas. ● Riego mayores a 20.000hc. ● Presas, Represas o embalses. ● Transvase de cuenca. ● Tratamiento de aguas residuales.	Se evalúa: 1. Fuentes de emisiones fijas, lineales, de área y móviles. 2. La ubicación cartográfica de los asentamientos poblacionales, las viviendas, la infraestructura social y las zonas críticas de contaminación. Hacer un programa de monitoreo en más de tres estaciones en un tiempo no menor a 10 días continuos, teniendo en cuenta la Información meteorológica. Se debe presentar la evaluación de la calidad del aire, con sus variaciones temporales y espaciales, determinando su incidencia en las áreas de asentamientos poblacionales y demás zonas críticas establecidas.	Se presentan en mapas escala 1:10.000 o mayor en industrias de Plaguicidas, de presas, represas y embalses. Se presentan en mapas escala 1:25.000 en Riego, transvase de cuenca y tratamiento de aguas residuales.
● Eólica. ● Obras marítimas duras de control y protección costera, y de regeneración de duna y playas ● Sector Minero ● Solar ● hidrocarburos	Se debe tener en cuenta ● Información actualizada del área de influencia durante los dos últimos años. ● Si no existe información del área de influencia se realizara una línea base considerando: - Meteorología - Particularidades del proyecto - Fuentes de emisiones - Receptores ● Para el proceso de captura de la información se debe cumplir con lo establecido en el protocolo para monitoreo y seguimiento de calidad del aire	Solar: No tiene tiempo específico para la información del área de influencia. Sector Minero: Estación de fondo y de propósito específico. Obras, proyecto y actividades que tengan en su descripción o se hayan identificado concentraciones de los siguientes contaminantes: arsénico, plomo, cadmio, cromo, níquel, mercurio o proyectos de plantas de conque, cementeras y siderúrgicas, deben realizar monitoreo de inmisión de dichos metales según el método EPA

	● Los Análisis respectivos se deben realizar en los laboratorios acreditados por el IDEAM. ● La Información de los datos cartográficos se deben presentar de acuerdo a lo establecido por la GDB. ● Mapas escala 1:10.000 o más detallada	aceptado de por el instituto de hidrología , meteorología y estudios ambientales IDEAM Solar: Se instalará una estación meteorológica portátil tipo 1. El número de estaciones debe garantizar cobertura espacial de la zona de influencia. Una estación de fondo vientos arriba y una estación de propósito especifica vientos abajo. Hidrocarburos: Ubicación cartográfica de los potenciales receptores. Permisos de emisiones atmosféricas para los cuales se presentarán resultados y análisis sobre el monitoreo y el mapa de calidad del aire, Sin dicho permiso se podrá presentar en el PMA específico. Con excepción de la información de los datos y mapa a escala.
● Sector de infraestructura. ● Vías. ● Puertos.	● Fuentes fijas, móviles y de área de gases y MP ● Ubicación cartográfica de los receptores ● Dirección y velocidad del viento ● Análisis de la zona, con permisos de emisiones atmosféricas ● Datos de monitoreo con un periodo mínimo de 2 meses continuos ● Laboratorios acreditados por el IDEAM	Vías: el tiempo no es Determinado para el monitoreo debe ser justificado según el área de influencia del proyecto.

	● La información cartográfica debe estar de acuerdo a GDB	
Rellenos sanitarios.	● Presentar medidas de control de calidad del aire por el operador de la actividad de disposición final. ● Mínimo Incorporar recolección y manejo de gases ● Mantenimientos preventivos de maquinaria y equipos ● Barreras naturales en las área de disposición final ● Cobertura diaria de las celdas con las especificaciones definidas en el titulo F del RAS	
Hidroeléctricas.	● Caracterización del área de influencia que identifiquen actividades que generen descargas de contaminantes. ● Niveles de inmisión. Información meteorológica.	

Tabla 10 Términos de referencia de la autoridad ambiental. Fuente Autoras

4.2.METODO DE MEDICION.

4.2.1. Equipos de medicion.

En Colombia los equipos de medición deben ser avaluados y señalados por la EPA para obtener un medición confiable y certificada, los equipos pueden ser de diferentes tecnologías como lo son los automáticos, semiautomáticos y manuales, también se pueden diferenciar de acuerdo a sus interferencias, rangos, caudales etc.

En tabla N. 11 encontraremos los equipos aprobados por la EPA para medición de Material Particulado menor a $_{2.5}$ micras.

Marca	Modelo	Referencia	País	Características	Distribuidor en Colombia
Andersen	Model RAAS $_{2.5}$ 200 PM $_{2.5}$ Ambient Audit Air sampler	RFPS 0299-128	EE.UU	Período de muestreo de 24 horas continúa. Velocidad de flujo de 16,67 litros / minuto. Inexactitud a la radiación solar: 1.6ºC Tipo: Semiautomatico	Colombia, Ecuador, Panama - CEM Systems AM Industrial Resources 5220 Northwest 72 Avenue, Bay #4 Miami, FL 33166 1.305.640.9857 phone 1.305.593.2074 fax Anthony Musumeci anthony@a

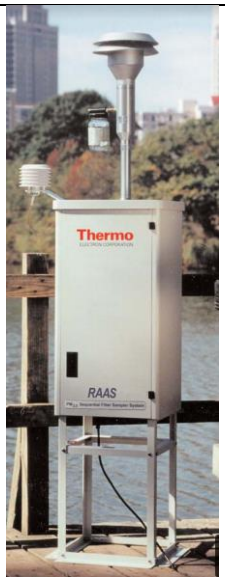
					mcargo.net www.amcargo.net
BGI Inc.	model PQ 200-VSCC or PQ 200A-VSCC PM $_{2.5}$ sampler	RFPS-0498-116 RFSP-0498-116 manual equivalente al método EQPM-0202-142	EE.UU	Sensor de temperatura ambiente con el escudo de radiacion. Está diseñado para operar independientemente de la dirección del viento y la velocidad del viento, con un rendimiento de 16,7LPM. PM $_{2.5}$ impactador: filtro de fibra de vidrio 37 mm y 1ml de Dow 704 aceite de difusión en el pozo, está diseñado para funcionar durante aproximadamente una semana y dependiendo en las concentraciones ambientales. Tipo:Semiautomatico	**Inteccon Inc.** sales@intecconinc.com T: 561 912 9809/ 561 912 7201 F: 561 912 9810 Inteccon Colombia S.A.S. Carrera 43A #19-17 Local 9513 Medellín Tel.+57 (4) 3665384 E-mail: falvarez@intecconinc.com Página web: www.intecconcolombia.com

ENVIRONMENT S.A	 Model MP 101 M PM $_{2.5}$ Monitor	Automated equivalent method EQPM-1013-211	Francia	Flujo volumétrico de aire: 3 sensores de presion y tempertura atmosferica. Rangos de medición: programable por el usuario, hasta 10000 µ g / m³. Límite inferior detectable: 0,5 µ g / m³ (promedio 24h). Beta Fuente: sellado de carbono 14 (1.6MBq ± 15%) detector: alto. Velocidad de flujo de muestreo: 1 m³ / h. Tipo:Automatico	Colombia Serge AFLALO s.aflalo@environnement-sa.com
Graseby Andersen	 Model RAAS $_{2.5}$- 100 PM $_{2.5}$ ambient air sampler	RFPS-0598-119 RFPS-0598-120	EE.UU	PM-$_{2.5}$ - Diseñado para cumplir con los estándares internacionales para el muestreo de aire de alto volumen De PM-$_{2.5}$ partículas. Precisión de control de flujo másico: + / - $_{2.5}$% de desviación (24 horas). Tipo: Manual	**Colombia, Ecuador, Panama - CEM Systems AM Industrial Resources** 5220 Northwest 72 Avenue, Bay #4 Miami, FL 33166 1.305.640.9857 phone 1.305.593.

					2074 fax Anthony Musumeci anthony@amcargo.net www.amcargo.net
Grimm	 Model EDM 180 PM $_{2.5}$ monitor	EQPM-0311-195	Aleman	Rango de tamaño: 0.25 – 32 µm. Reproducibilidad: ± 3% de todo el rango de medida Flujo de muestra: Flujo de muestra. Toma de muestra: Extracción isotérmica de la humedad vía membrana de Nafion, controlada por sensor, sin pérdida de compuestos semivolátiles. Condiciones de operación +4 a +40°C, HR < 95 %, sin condensación. Tipo: Automatico	Ambientali Calle 96 # 68B – 12 Bogotá D.C. Colombia Tel: +57 (1) 717 42 82 Cel.: +57 312 329 53 10 comercial@ambientalia.com.co Servicio Técnico director.tecnico@ambientalia.com.co

Met one instrument, Inc.	 BAM-1020 monitor-$PM_{2.5}$ FEM configuration, Horiba APDA- 371- $PM_{2.5}$ configuration	EQPM-0308-170 EQPM-0715-266 EQPM-1013-209 RFPS-0315-221 EQPS-0316-235	EE.UU	Tasa de flujo : 16,67 litros / min. Operado para mediciones promedio 24 de 1 hora con revisión de firmware 3.2.4 o posterior. Temperatura ambiente y sensor combinado de presión barométrica. Controlador de flujo Automático. Punto de Rocío Sistema de calefacción. Tipo:Automatico	**Colombia** SanAmbiente SAS ventas@sanambiente.com.co Productos Met and Air
Opsis	 SM 200-Dust Monitor	EQPM-0812-203	Suecia	Período de muestreo de 24 horas continúa. Velocidad de flujo real total de 16,67 L / min. Filtros de membrana de 47 mm de PTFE. Estabilizador de temperatura TS200. Software versión 4.1.16 o posterior. Tipo: Automatico	OPSIS ABBox 244SE-244 02 Furulund SwedenTelephone : +46 46 72 25 00E-mail: info@opsis.seWebsite : http://www.opsis.se

Rupprecht Patashnick	 Partisol-FRM Model 2000 PM $_{2.5}$ Air Sampler	RFPS-0498-117 RFPS-0499-129 RFPS-0499-129 Or EQPM-0202-144 RFPS-0498-118		Casetes de filtro mecanizadas o moldeadas. período de muestreo de 24 hora continua. Velocidad de flujo de 16,67 litros / min. Tipo: Manual	X
Teledyne Advanced Pollution Instrumentation	 Model T640 PM Mass Monitor	EQPM-O516-236 EQPM-O516-238	EE.UU	Filtros de fibra de vidrio 47 mm. Caudal: 16,67 litros / min. Versión de software 05 a 02,07. 63 o posterior. Separador ciclónico. Velocidad de flujo volumétrico de 5,0 Lpm. Tipo: Automatico	SANAMBIENTE SAS Carrera 36B # 5B3 - 31 Cali - Valle del Cauca Colombia José Luis Abelló T. o Jaime Omar Díaz C. Teléfono: + 57-2-514-1342 + 57-1-210-2615 E-Mail: ventas@sanambiente.com.co

					E-Mail: jl.abello@sanambiente.com.co E-Mail: jo.diaz@sanambiente.com.co Sitio web: www.sanambiente.com.co
Thermo Electron	 Model RAAS $_{2.5}$ – 100 PM $_{2.5}$ Ambient Air Sampler	RFPS-0598-119 Or EQPM-0804-153 RFPS-0299-128 Or EQPM-0804-154 RFPS-0598-120 Or EQPM-0804-155	EE.UU	Caudal: 16.67 L/min Precisión de la medición: 2% Calibración flexible de sensores de temperatura utilizando un calibrador de termopar o baño de inmersión. Ambiental: -30ºC a + 45ºC 600mm Hg a 800 mm Hg, a 100% de humedad, lluvia, y resistente nieve. Basado filtro gravimétrico. Exactitud sensores: 10 mm Hg Tipo: Semiautomatico	X

Thermo Environmental Instrument, Incorporated	Model 605 ”CAPS” Sampler	RFPS-1098-123		Operado con software versión 1.02a. Período de muestreo de 24 horas continúas. Tipo: Manual	X
Thermo Scientific	 Model 5014i or Thermo Scientific FH62C14-DHS Continuos Ambient Particle Monitor	EQPM-0609-183 EQPM-0609-184		Velocidad de flujo de 16,67 litros por minuto para las mediciones Promedio de 24 horas configurados para PM $_{2.5}$. cinta de filtro GF10, cambio de filtro 8 horas. Tipo: Automático	X
Thermo Scientific TEOM		EQPM-0609-181 EQPM-0609-182	EE.UU	Caudal real total de 16,67. Versión de firmware 3.20 y posteriores. Impactador virtual. Flujo de la muestra fina de 3 L / min, y la muestra gruesa de	X

	1400a Ambient Particulate Monitor con Serie 8500C FDMS			1,67 L / min, Tipo: Automatico	
Thermo Scientific Partisol	 2000-D Dichotomous Air Sampler Or Thermo Fisher Scientific Partisol	EQPS-0509-177 EQPS-0509-179 RFPS-0498-117 Or EQPM-0202-143 RFPS-0498-118 Or EQPM-0202-145		Impactador virtual para separar finos y gruesos PM en dos muestras para la recogida en dos membranas de filtro separados. Período de muestreo de 24 horas. Versión de firmware 2.0 o mayor. Tipo: Semiautomatico	X
Tisch Environmental	 Model TE-Wilbur 2.5 Particulate Sampler-2.5	RFPS-1014-219 EQPS-0415-223		Operado por 24 Períodos de muestra. Velocidad de flujo de 16,67 L / min. Filtro de membrana a de 47mm Rango: 1- 25 L/m Tipo: Semiautomatico	Inteccon Colombia S.A.S. Carrera 43A #19-17 Local 9513 Medellín Tel.+57 (4) 3665384 E-mail: falvarez@intecconinc.com Página

					web: www.intecconcolombia.com
URG-MASS		RFPS-0400-135 RFPS-0400-136 EQPS-0316-233 EQPS-0316-234	EE.UU	Período de muestreo de 24 Hora continua. Velocidad de flujo de 16,67 litros / minuto Tipo: Manual	X

Tabla 11. Equipos aprobados por la EPA para la medición de material particulado $PM_{2.5}$. Fuente Autoras.

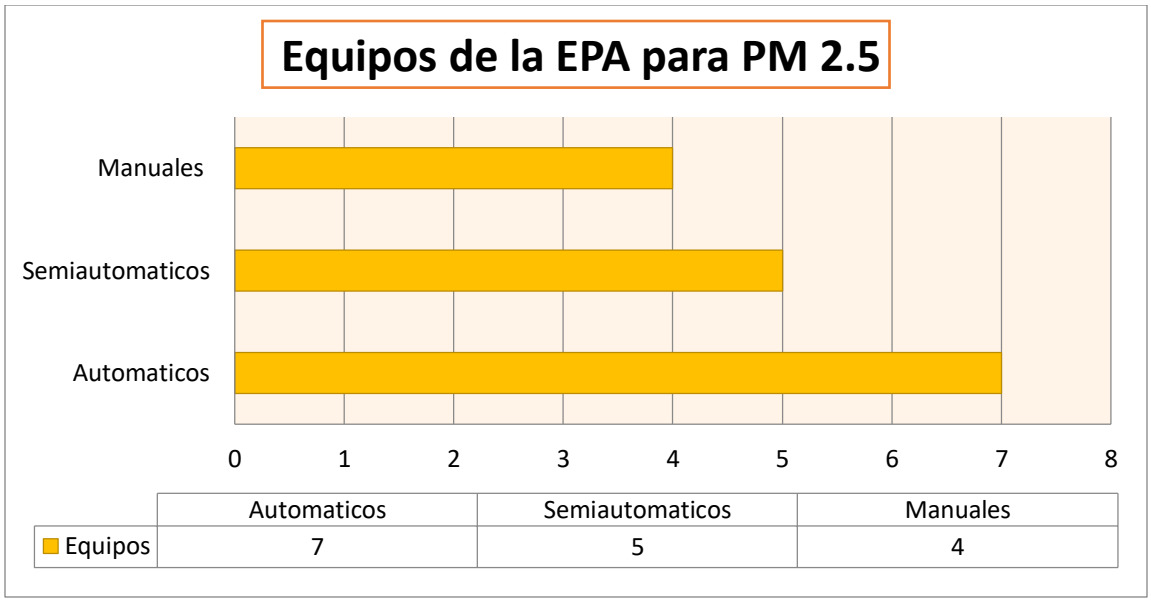


Tabla 12. Equipos EPA PM $_{2.5}$. Fuente Autoras

De los 16 equipos aprobados por la EPA para medicion de PM $_{2.5}$ 7 son automáticos, estos son de alto rendimiento con datos promedios horarios o cada diez minutos, por su información en línea se pueden analizar en tiempo real, su estándar de mantenimiento es alto para tener una mejor confiabilidad, tiene una medición puntual con alta resolución y son los más costosos en el mercado. Los equipos manuales tiene una medición promedio semanal y mensual con baja resolución no dependen de cables de electricidad y son muy simples, utilizados para identificar lugares críticos, sondeos y estudios de línea base; estos requieren mano de obra permanente para su funcionamiento y poco demanda de recursos operativos, las muestras son llevadas al laboratorio para análisis, estos equipos son los más económicos. Los equipos semiautomáticos son de fácil manejo y su operación y rendimiento son confiables, tiene una medición promedio diaria y anual, aunque también requieren de análisis de laboratorio y una mano de obra intensiva para recolección y análisis de las muestras, estos cuentan con base de datos histórico y son económicos. (MINISTERIO DE AMBIENTE, 2010)

4.2.2. Técnicas de medición y Cálculos de concentración

El CFR es la base fundamental para la debida medición de los contaminantes de calidad del aire, la informacion se encuentra en ingles y es extensa, en las figuras del 21 a la 26 se resumen en un formato facil de entender.

4.PRECISIÓN DE LAS MEDICIONES

precisión es el grado de concordancia entre un muestreador en campo y muestreador de auditoria que operan simultáneamente, estos incluyen tanto errores aleatorios (precisión) y sistemáticos

5.PRECISIÓN OPERACIONAL

5.1 Las pruebas se realizan durante un mínimo de 10 días de operación en campo utilizando 3 muestreadores de prueba y se comparan los muestreadores para establecer la precisión operacional, cada muestra de método de referencia se especifica en el siguiente diagrama tomado de la parte 53.58 de este capítulo del CFR.

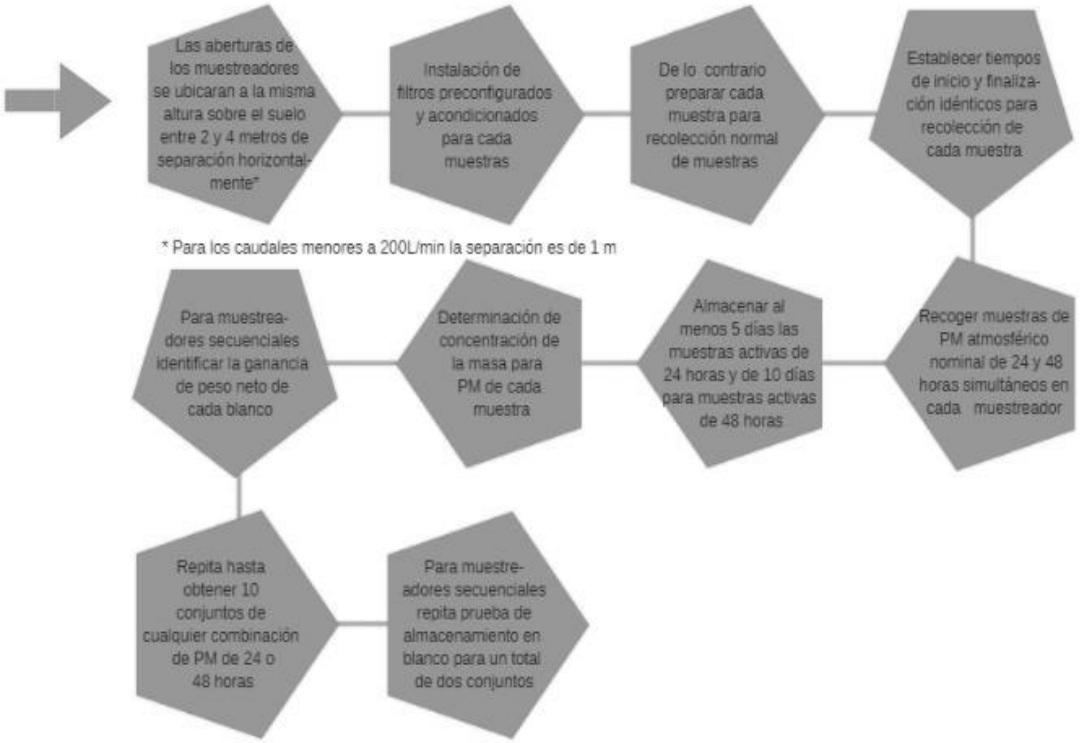


Diagrama N°1. Proceso de la precisión operacional parte 53.58

CÁLCULOS DE PRECISIÓN OPERACIONAL PARTE 53.58

1) Registre la concentración de PM para cada muestra de prueba para cada período de prueba como C^i, j, donde i es el número de muestra y j es el período de prueba.
2) Para cada período de prueba, calcule y registre el promedio de las tres concentraciones medidas de PM como C ave, j donde j es el período de prueba utilizando la ecuación 26.
2.1) Si C ave, j <3 µg / m 3 para cualquier período de prueba, los datos de ese período de prueba son inaceptables, y se debe obtener un conjunto de recolección de muestras adicional para reemplazar los datos inaceptables.
3) Calcule la precisión para cada uno de los 10 períodos de prueba, como la desviación estándar, utilizando la ecuación 27.
3.1) Para cada uno de los 10 períodos de prueba, calcule la precisión como la desviación estándar relativa, utilizando la ecuación 28.

Equation 26

$$C_{ave,j} = \frac{1}{3} \times \sum_{i=1}^{3} C_{i,j}$$

Equation 27

$$P_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{3} C_{i,j}^2 - \frac{1}{3}\left(\sum_{i=1}^{3} C_{i,j}\right)^2}{2}}$$

Equation 28

$$RP_j = 100\% \times \frac{P_j}{C_{ave,j}}$$

6.FILTRO PARA LA RECOPILACIÓN DE MUESTRAS.

6.1 Tamaño — Circular, 46.2 mm de diámetro ± 0.25 mm.

6.2. Medio — Politetrafluoroetileno (PTFE Teflon), con anillo de soporte integral.

6.3.Anillo de soporte — Polimetilpenteno (PMP) o material inerte equivalente, 0.38 ± 0.04 mm de espesor, diámetro exterior 46.2 mm ± 0.25 mm y ancho de 3.68 mm (± 0.00, -0.51 mm).

6.4 Tamaño de poro. — 2 µm medido por ASTM F 316-94.

6.5 Espesor del filtro. — 30 a 50 µm.

6.6 Filtro limpio. — Columna de 30 cm H 2 O a 16,67 l / min flujo de aire limpio

6.7Captación de humedad máxima — No más de 10 µg de aumento de peso después de una exposición de 24 horas al aire con una humedad relativa del 40%, en relación con el peso después de una exposición de 24 horas al aire con una humedad relativa del 35%.

6.8 Eficiencia de la colección. — Más de 99.7%, según lo medido por la prueba DOP (ASTM D 2986-91) con partículas de 0.3 µm a la velocidad de funcionamiento de la muestra.

6.9 ESTABILIDAD DEL PESO DEL FILTRO APLICABLES PARA LAS DOS PRUEBAS.

La pérdida de peso del filtro debe ser inferior a 20 µg. La pérdida de peso del filtro será la diferencia promedio entre los pesos de filtro inicial y final de una muestra aleatoria de filtros de prueba seleccionada. La cantidad de filtros probados no debe ser inferior al 0,1 por ciento de los filtros de cada lote de fabricación, o 10 filtros, el que sea mayor. Los filtros se pesarán en blanco. Cada procedimiento de prueba debe incluir acondicionamiento, pesaje inicial, la prueba, el acondicionamiento y pesaje final.

PRUEBA DE CONTAMINACIÓN DE PARTÍCULAS SUPERFICIALES SUELTAS.

6.9.1 Después del pesaje inicial, instale cada filtro de prueba, a su vez, en un cassette de filtro y deje caer el cassette desde una altura de 25 cm a una superficie dura plana. Repita dos veces, para un total de tres pruebas de caída para cada filtro de prueba. Retire el filtro de prueba del cassette y pese el filtro.

PRUEBA DE ESTABILIDAD DE TEMPERATURA.

6.9.2 Después de pesar cada filtro, coloque los filtros de prueba en un horno de secado a 40 ° C ± 2 ° C durante no menos de 48 horas. Retire, acondicione y vuelva a pesar cada filtro de prueba.

6.10 Alcalinidad. Menor de 25 microequivalentes /gramo de filtro.

6.11 Requisitos suplementarios Los usuarios que pretendan someter las muestras de filtro PM 2.5 al análisis químico posterior deben desarrollar especificaciones adicionales para el filtro. Estas especificaciones suplementarias incluyen contaminación química de fondo del filtro y cualquier otro parámetro de filtro que pueda requerir el método de análisis químico.

7. MUESTREADOR

7.1 Configuración

el equipo de medicion consistirá en una entrada de aire (inllet), tubo descendente, separador de tamaño de partícula (impactador), conjunto de portafiltro, bomba de aire, sistema de control de caudal, dispositivo de medición de caudal, sistema de control de temperatura ambiente y filtro, sistema de medición de presión barométrica, temporizador, Recinto ambiental al aire libre, y capacidad adecuada de control mecánico, eléctrico o electrónico

- → Proporcionar control automático de la tasa de flujo volumétrico de la muestra y otros parámetros operativos.
- → Controle estos parámetros operativos, así como la temperatura y la presión ambientales.
- → Proporcione esta información al operador de muestreo al final de cada período de muestreo en forma digital, como se especifica en la tabla L-1.

7.2

Naturaleza de las especificaciones.

La muestra se especifica mediante una combinación de requisitos de diseño y rendimiento. La entrada de muestra, el tubo descendente, el discriminador de tamaño de partícula, el cassette del filtro y la configuración interna del ensamblaje del portafiltro están especificados explícitamente por figuras de diseño y dimensiones mecánicas, tolerancias, materiales, acabados de superficie, instrucciones de ensamblaje y otras especificaciones necesarias. Todos los demás aspectos de la muestra se especifican por la función operativa requerida y el rendimiento, y el diseño de estos otros aspectos (incluido el diseño de la parte inferior del conjunto del portafiltro) es opcional, sujeto a un rendimiento operativo aceptable.

7.3

Especificaciones de diseño.

Los componentes deben ser fabricados exactamente como se especifica en ISO 9001. Las modificaciones que no afectarían el rendimiento aerodinámico de la entrada, el tubo descendente, el impactador o el cassette del filtro son de aprobación específica y se deben describir y presentar a la EPA para su aceptación individual como parte de una solicitud de referencia o método equivalente

Especificaciones de diseño.

- ***Conjunto de entrada de muestra***. La entrada, el tubo descendente y el impactador, se debe configurar y ensamblar como se indica en la Figura L-1.
- ***La entrada*** de muestra se fabricará como se indica en las Figuras L-2 a L-18 de este apéndice y deberá cumplir con todos los requisitos asociados.
- ***El tubo descendente*** se fabricará como se indica en la Figura L-19 .
- La muestra se configurará con uno de los dos ***separadores de tamaño*** de partícula, el impactador (WINS) o el alternativo tipo ciclón (VSCC TM).

Nota. *En el diagrama de la parte 53 subparte E se encuentran los procedimientos de prueba de los requisitos de diseño y rendimiento*

El impactador debe fabricarse como se indica en las Figuras L-20 a L-24. debe. Después de la fabricación de cada alojamiento del impactador superior (Figura L-21 de este apéndice), el fabricante debe verificar la dimensión del chorro de impacto utilizando medidores de enchufe Clase ZZ go / no-go que son trazables al NIST.

Especificaciones de diseño.

7.3

Especificaciones del filtro del impactador:
Tamaño. Circular, 35 a 37 mm de diámetro.
Medio. Fibra de vidrio borosilicato, sin aglutinante.
Tamaño de poro. 1 a 1.5 micrómetros, medido por ASTM F 316-80.
Espesor. 300 a 500 micrómetros.

Especificaciones del aceite del impactador:
Composición. Sectutato de dioctilo (DOS), aceite de difusión de un solo compuesto.
Presión de vapor. Máximo 2 × 10 -8 mm Hg a 25 ° C.
Viscosidad. 36 a 40 centistokes a 25 ° C.
Densidad. 1.6 a 1.7 g / cm 3 a 25 ° C.
Cantidad. 1 mL ± 0.1 mL.

El separador de ciclón se identifica como un separador muy cortante BGI VSCC TM especificado como parte del método equivalente designado EPA EQPM-0202-142 (67 FR 15567 , 2 de abril de 2002) y fabricado por BGI Incorporated, 58 Guinan Street, Waltham, Massachusetts 20451.

La muestra tendrá un ***conjunto de portafiltro*** para adaptar y sellar al tubo inferior, y para sujetar y sellar el filtro especificado, en la corriente de aire de muestra en una posición horizontal debajo del tubo descendente de manera que el aire de muestra pasa hacia abajo a través del filtro a una velocidad uniforme.

- La parte inferior del conjunto del portafiltro debe ser de un diseño y construcción que se combina con la parte superior del conjunto y completa tanto el sello de aire externo como el interno del cartucho de filtro de manera que sean confiables y fáciles para los cambios repetidos de filtro.
- Si se almacenan filtros adicionales en la muestra todos los filtros a menos que estén instalados deben estar sellados de manera que no puedan ser adulterados y minimizar la pérdida de componentes de muestra

La parte superior de este ensamblaje se fabricará como se indica en las Figuras L-25 y L-26 y sellará con el cassette del filtro, que se fabricará como se indica en las Figuras L-27 a L-29 de este apéndice.

Nota. *Los requisitos de rendimiento de la prueba de fugas se incluyen en la sección 7.4.6 de este apéndice.*

Se debe proporcionar un ***adaptador de medición de caudal*** como se especifica en la Figura L-30.

Acabado superficial. Todas las superficies internas expuestas a la muestra de aire antes del filtro serán tratados electrolíticamente en un baño de ácido sulfúrico para producir un, anodizado uniforme acabado de la superficie clara de no menos de 1000 mg / ft 2 (1,08 mg / cm 2) de acuerdo con el estándar militar especificación 8625F, tipo II, clase 1 en la referencia 4. Este recubrimiento de superficie anódica no debe teñirse ni pigmentarse. Después de la anodización, las superficies se sellarán por inmersión en agua desionizada hirviendo durante no menos de 15 minutos

Altura de muestreo. La muestra debe estar equipada con un soporte para mantenerla en una posición vertical estable, de tal manera que el aire de la muestra entre por el centro, durante la recolección de muestras, se mantenga en un plano horizontal y de 2.0 ± 0.2 metros sobre el piso u otra superficie de soporte horizontal.

Especificaciones de rendimiento.

7.4

La ***tasa de flujo de aire*** de la muestra de diseño a través de la entrada debe ser de ***16,67 L/min*** (1,000 m³/hora) medida como el caudal volumétrico real a la temperatura y presión del aire, esta se deberá promediar en intervalos de 5 min y no puede variar en mas del 5%

El ***sistema de control de flujo*** debe ser capaz de cumplir con las especificaciones mencionadas a una caída de presión del filtro igual a la de un filtro limpio hasta 75 cm columna de agua (55 mm Hg), y sobre el rango especificado de voltaje de línea de suministro. Este sistema deberá permitir el ajuste por parte del operador de la tasa de flujo operacional de la muestra en un rango de ± 15% del caudal.

Se debe hacer una ***regulación de la tasa de flujo de la muestra*** verificando que cumpla con lo anteriormente especificado y adicionalmente:

El coeficiente de variación (desviación estándar de la muestra dividido por la media) del caudal, medido durante un período de 24 horas, no será superior al 2%.

La amplitud de las pulsaciones de caudal a corto plazo, como la que puede originarse en algunos tipos de bombas de vacío, se atenuará de forma que no causen un error de medición de caudal

Corte de caudal. El sistema de control de la tasa de flujo de aire de la muestra terminará la recolección de muestras y detendrá todo el flujo de muestra durante el resto del período en caso de que la velocidad de flujo de la muestra se desvíe en más del 10% del flujo de diseño del muestreador por más de 60 segundos. Sin embargo, esta disposición de corte no se aplicará durante los periodos en que la muestra no esté operativa debido a una interrupción temporal de energía, y el tiempo transcurrido del período inoperativo no se incluirá en el tiempo total de la muestra.

Medición de la tasa de flujo. El muestreador deberá proporcionar un medio para medir e indicar el caudal de aire de muestra instantáneo o al menos cada ***30 segundos,*** con una precisión de ± 2%, el cual debe estar visible en todo momento.

Utilizando este ***intervalo de medidas de tasa de flujo***, el muestreador calculará los siguientes parámetros para el periodo de muestra:

- La velocidad de flujo instantánea o de intervalo promedio, en L / min.
- El valor del caudal de muestra promedio, en L / min.
- El valor del coeficiente de variación (desviación estándar de la muestra dividida por el promedio) de la tasa de flujo de la muestra, en porcentaje.
- La ocurrencia de cualquier intervalo de tiempo en el que el caudal de muestra medido excede un rango de ± 5% del caudal promedio durante más de 5 minutos, en cuyo caso un indicador de bandera de advertencia deberá ser establecido.
- El valor del volumen de muestra total integrado, en m³.

Nota. *1.* *El cálculo de estos valores se excluirá en los periodos en que la muestra no esté operando por una interrupción temporal de la energía eléctrica, o por el corte del caudal.*
2. *Estos parámetros deberán ser accesibles para el operador de muestreo como se especifica en la* ***tabla L-1.***

Capacidad de prueba de fugas:

Fuga externa. Los componentes del sampler que se someterán a esta prueba de fugas incluyen todos los componentes y sus interconexiones en los que la fuga de aire externa podría causar un error en la medición del volumen total de aire de muestra que pasa a través del filtro de muestra.
La técnica sugerida para que el operador realice esta prueba de fugas se explicara en el ***diagrama 2***.

Fuga de bypass de filtro interno. La muestra incluirá una capacidad interna de filtrado de fugas. El propósito de la prueba es determinar que cualquier porción de la velocidad de flujo de la muestra que no pase por el filtro es insignificante en relación con la tasa de flujo de diseño para la muestra.
La técnica sugerida para que el operador realice esta prueba de fugas se explicara en el ***diagrama 3***.

Nota. Pueden requerirse variaciones de la técnica sugerida o una técnica alternativa de prueba de fuga externa para muestreadores cuyo diseño o configuración haría imposible o impráctica la técnica sugerida, pero se deberá presentar a la EPA para su aceptación. Para la solicitud véase Parte 53.

Prueba fuga externa

[1]Precaución

Diagrama N°2. Técnica de prueba de fuga externa

Prueba fuga interna

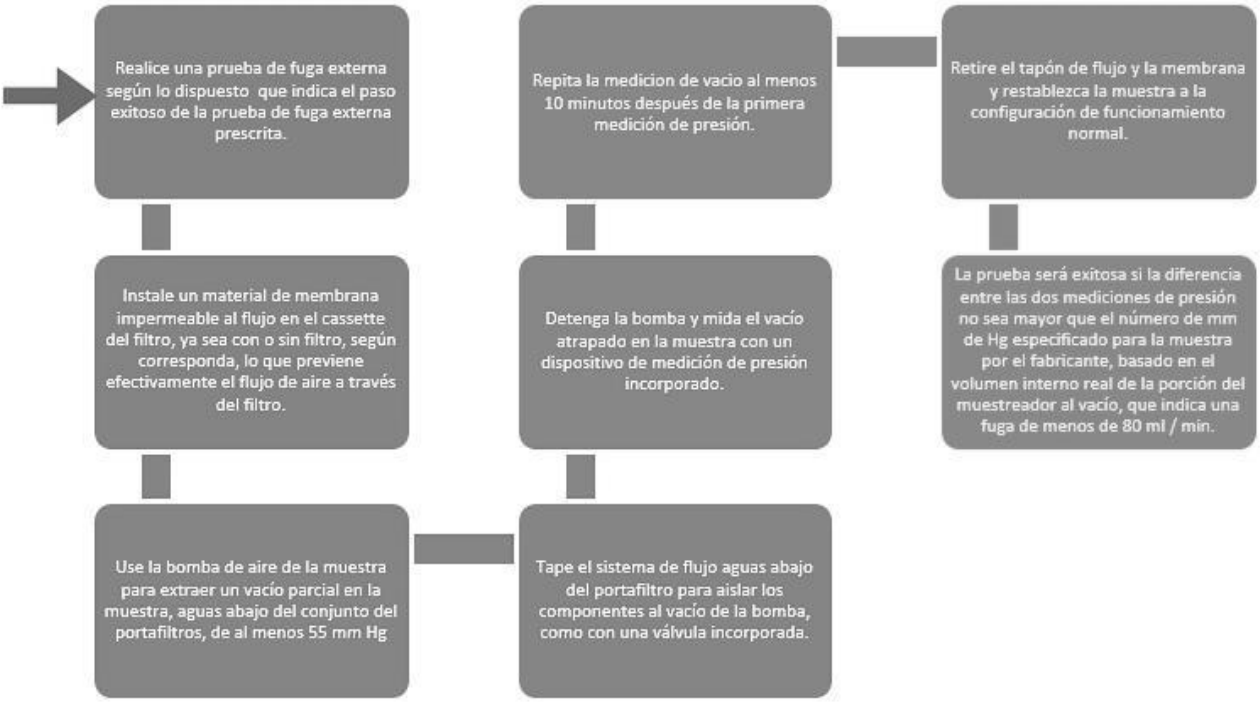


Diagrama N°3. Técnica de prueba de fuga interna

Especificaciones de rendimiento.

7.4

Rango de condiciones operacionales. Se requiere que la muestra funcione correctamente y cumpla con todos los requisitos de:

Temperatura ambiente. -30 a = 45 ° C
Humedad relativa del ambiente. 0 a 100 por ciento.
Rango de presión barométrica. 600 a 800 mm Hg.

Nota: *Aunque por razones prácticas, el rango de temperatura sobre el que se requiere probar los muestreadores según la parte 53 de este capítulo es de -20 a = 40 ° C, la muestra estará diseñada para funcionar correctamente durante este rango de temperatura más amplio.*

Sensor de temperatura ambiente. La muestra tendrá la capacidad de medir la temperatura del aire ambiente con una resolución de 0.1 ° C y una precisión de ± 2.0 ° C, con y sin insolación solar máxima.

Debe montarse en el exterior del gabinete de la muestra y debe tener un protector solar pasivo y con ventilación natural. El sensor se ubicará de manera tal que toda la protección solar esté al menos 5 cm por encima del plano horizontal de la caja de muestra y externa al plano vertical del lado más cercano de la caja de muestras. El error máximo de medición de la temperatura del sistema de medición de la temperatura ambiente deberá ser inferior a **1,6 ° C a 1 m/s** de velocidad del viento y **1000 W/m²** de intensidad de radiación solar.

El sensor de temperatura ambiente deberá ser de tal diseño y estar montado de tal manera que facilite su conveniente desmontaje e inmersión en un líquido para calibración y comparación con el sensor de temperatura del filtro.

Esta medición de la temperatura ambiente deberá actualizarse al menos **cada 30 segundos** durante los modos de operación tanto de muestreo como en espera como se especifica en la tabla L -1

Esta medición de la temperatura ambiente se utilizará para controlar la desviación de la temperatura del filtro, y puede utilizarse el cálculo de la tasa de flujo volumétrico.

Después del final de cada período de muestra, el muestreador deberá informar la temperatura máxima, mínima y promedio, como se especifica en la tabla L-1

Sensor barométrico ambiental. La muestra tendrá la capacidad de medir la presión barométrica del aire que rodea la muestra en un ***rango de 600 a 800 mm Hg***. Esta medición de presión barométrica tendrá una ***resolución de 5 mm Hg*** y una ***precisión de ± 10 mm Hg*** y se actualizará al menos cada ***30 segundos***, como se especifica en la tabla L -1. Esta medición de la presión barométrica se puede usar para fines de cálculo de la tasa de flujo volumétrico, si corresponde. Después del final de un período de muestra, la muestra deberá informar las presiones barométricas máxima, mínima y media para el período de muestra, como se especifica en la tabla L-1.

Control de la temperatura del filtro (muestreo y post-muestreo). El muestreador proporcionará un medio para limitar el aumento de temperatura del filtro de muestra de la insolación y otras fuentes, a **no más de 5 ° C** por encima de la temperatura del aire ambiente que rodea al muestreador, durante ambos muestreos y periodos de operación posteriores al muestreo. El período posterior al muestreo es el período de no muestreo entre el final del período de muestreo activo y el momento de recuperación del filtro de muestra por parte del operador de muestreo

Sensor (es) de temperatura del filtro. Capacidad de monitorear la temperatura del filtro de muestra en el ***rango de -30 a = 45 ° C*** durante los períodos de muestreo y no muestreo. No se especifica ubicación exacta explícitamente, debe demostrar acuerdo, dentro de ***1 ° C***, con un sensor de temperatura de prueba ubicado a 1 cm del centro del filtro corriente abajo del filtro durante el muestreo y no de muestreo. Esta medición de la temperatura del filtro debe tener una ***resolución de 0.1 ° C*** y una ***precisión de ± 1.0 ° C.***

- La medición de la temperatura del filtro deberá actualizarse al menos cada 30 segundos.
- Para los muestreadores secuenciales, la temperatura de cada filtro se medirá individualmente
- La muestra también proporcionará un indicador de advertencia después exceda la temperatura ambiente en más de 5 ° C durante más de 30 minutos consecutivos,
- **Nota**. como se especifica en el cuadro L-1.

Nota. Este sensor de temperatura debe ser de tal diseño y estar montado de tal manera que facilite su desmontaje e inmersión razonablemente conveniente en un líquido para calibración y comparación con el sensor de temperatura ambiente.

Especificaciones de rendimiento.

7.4

Sistema de reloj / temporizador. La muestra tendrá un sistema programable de sincronización / control del reloj en tiempo real que tenga fecha con una precisión de ± 1,0 minutos por mes.

Es capaz de iniciar el período de recolección de muestras y muestrear el flujo de aire en una fecha y hora específica configurable por el operador, detener el flujo de aire de muestra y finalizar el período de recolección de muestras 24 horas (1440 minutos) más tarde o en una, hora y fecha ajustables por el operador, como se especifica en la tabla L- 1.

Tras la ejecución de un inicio de período de muestra programado, el muestreador reiniciará automáticamente toda la información del período de muestra y las indicaciones del indicador de advertencia correspondientes a un período de muestra anterior.

Determinación del tiempo de muestra. La muestra deberá ser capaz de determinar el tiempo de recolección de muestra transcurrido para cada muestra de PM 2.5 , con una ***precisión de ± 1.0*** minuto, medida como el tiempo entre el inicio del período de muestreo.

La muestra tendrá un ***recinto al aire libre*** (o gabinetes) adecuado para proteger el filtro y otros componentes no resistentes a la intemperie.

Suministro de energía eléctrica. La muestra debe funcionar cuando se opera con un voltaje de suministro de energía eléctrica de ***105 a 125 voltios de CA (RMS)*** a una frecuencia de 59 a 61 Hz. El funcionamiento opcional especificado en voltajes y / o frecuencias adicionales de la fuente de alimentación no estará excluido por este requisito

En caso de pérdida temporal de la alimentación eléctrica de la muestra, no se requerirá que la muestra muestree ni proporcione otras funciones especificadas, excepto que el sistema interno de reloj / temporizador mantendrá su hora local y ajuste de fecha dentro de ± 1 minuto por semana, y el muestreador deberá retener todos los ajustes de tiempo y programa y todos los datos requeridos para estar disponibles para el operador de muestreador después de cada período de muestra durante al menos 7 días sin alimentación eléctrica. Cuando no hay energía eléctrica en el tiempo establecido por el operador para iniciar un período de muestra o se interrumpe durante un período de muestra, el muestreador iniciará o reanudará el muestreo automáticamente cuando se restablezca la energía eléctrica.

El diseño y la construcción de la muestra deberán cumplir con todos los requisitos de seguridad eléctrica aplicables del Código Eléctrico Nacional y de Underwriters Laboratories.

El diseño de todos los controles eléctricos y electrónicos debe ser tal que proporcione una resistencia razonable a la interferencia o mal funcionamiento de los niveles ordinarios o típicos de campos electromagnéticos (EMF) aislada.

La muestra tendrá la capacidad de registrar y conservar un registro del año, mes, día del mes, hora y minuto del inicio de cada interrupción de energía de más de 1 minuto de duración, hasta 10 de dicha potencia interrupciones por periodo de muestra. (***Más de 10 de tales interrupciones de energía invalidarán la muestra,*** excepto cuando se mide una excedencia La muestra deberá prever que estos datos de interrupción de potencia estén disponibles para el operador de muestreador una vez finalizado el período de muestra, como se especifica en la tabla L-1

Dispositivos de control e interfaz de operador. La muestra tendrá controles de cualquier tipo según sea necesario para proporcionar la temporización, medición, control del caudal, control de temperatura, almacenamiento, cálculo de datos, interfaz del operador y otras funciones especificadas. La muestra tendrá la provisión para que el operador ingrese y almacene hasta 64 caracteres de datos con el propósito de identificación del sitio, del muestreador y de la muestra y estará disponible para la verificación y el cambio. Toda la información requerida será retenida por la muestra hasta el reinicio, ya sea manualmente o automáticamente por la muestra al inicio de una nueva muestra período de recolección.

Especificaciones de rendimiento.

7.4

Requisito de puerto de salida de datos. La muestra tendrá una ***conexión de salida de datos RS-232C*** estándar a través de la cual los datos digitales pueden exportarse a un dispositivo externo de almacenamiento o transmisión de datos. La información que debe ser accesible a través de este puerto de salida se resume en la tabla L-1. El fabricante o proveedor de muestras deberá poner a disposición de los compradores de muestra el software adecuado para recibir los datos del muestreador exportado y traducir correctamente los datos en un formato de hoja de cálculo estándar. Este requisito no impedirá que la muestra ofrezca otros tipos de conexiones de salida además del requerido.

Manual de operación / instrucciones. La muestra incluirá una operación integral asociada o un manual de instrucciones, que incluye instrucciones de operación detalladas sobre la configuración, operación, calibración y mantenimiento de la muestra.

- Debe incluir una advertencia adecuada de los riesgos de seguridad potenciales que pueden resultar del uso normal o mal funcionamiento del método y una descripción de las precauciones de seguridad necesarias.
- Debe incluir una descripción clara de todos los procedimientos relacionados con la instalación, operación, mantenimiento periódico y correctivo y solución de problemas, e incluirá diagramas de identificación de piezas.

Requisitos de informes de datos. En la siguiente tabla L-1 se resume la diversa información que debe proporcionar la muestra y cómo se debe proporcionar.

8.0 PESAJE DEL FILTRO.

8.1

La balanza analítica debe tener una legibilidad de ± 1 µg. La balanza se debe calibrar y recalibrar inmediatamente antes de cada sesión de pesaje.

8.2

Acondicionamiento del filtro. Todos los filtros de muestra utilizados deben acondicionarse inmediatamente antes de las pesadas de pre y post muestreo como se especifica a continuación.

- ***Temperatura media.*** 20 - 23 ° C.
- ***Control de temperatura***. ± 2 ° C durante 24 horas.
- ***Humedad media***. Generalmente, 30-40% de humedad relativa*.
- ***Control de humedad***. ± 5% de humedad relativa durante 24 horas.
- ***Tiempo de acondicionamiento.*** No menor a 24 horas.

* Cuando se puede demostrar que la humedad relativa ambiental media durante el muestreo es inferior al 30%, se permite el acondicionamiento a una humedad relativa media dentro de ± 5% de humedad relativa ambiental relativa durante el muestreo, pero no inferior al 20%.

8.3 Procedimiento de pesaje.

Los nuevos filtros deben colocarse en el ambiente de acondicionamiento inmediatamente después de su llegada y almacenarse allí hasta el pesaje de muestreo previo.

La balanza analítica debe ubicarse en el mismo entorno controlado en el que se acondicionan los filtros.

Los filtros se pesarán inmediatamente después del período de acondicionamiento sin exposición intermedia o transitoria.

Los filtros deben acondicionarse en condiciones de humedad dentro de ± 5% de humedad relativa antes de los pesajes previo y posterior al muestreo.

los pesajes previos y posteriores al muestreo deben realizarse en la misma balanza analítica, utilizando una técnica efectiva para neutralizar las cargas estáticas en el filtro.

El pesaje previo al muestreo deberá realizarse dentro de los 30 días posteriores al período de muestreo.

El acondicionamiento y pesaje posterior al muestreo se completará dentro de las 240 horas (10 días) o 30 dias si se mantiene la muestra a una temperatura inferior a 4°C

Los nuevos filtros vacíos de campo se pesarán junto con el pesaje de pre-muestreo de cada lote. Estos se transportarán al sitio de muestreo, se instalarán en la muestra, se extraerán de la muestra sin tomar muestras

Los nuevos filtros de laboratorio en blanco se pesarán junto con el pesaje de pre-muestreo de cada lote. Estos deben permanecer en el laboratorio en contenedores protectores durante el muestreo de campo

los filtros en blanco debe volverse a pesar como control de calidad

Diagrama N°4. Procedimiento de pesaje del filtro

9.0 CALIBRACIÓN

9.1 Requisitos generales

La calibración multipunto y la verificación en un solo punto del dispositivo de medición del caudal del muestreador se deben realizar periódicamente para establecer y mantener la trazabilidad de las mediciones de flujo posteriores a un estándar de velocidad de flujo.

→

Se debe usar un estándar de índice de flujo autorizado para calibrar o verificar el dispositivo de medición de caudal del muestreador con una precisión de ± 2%. El estándar de velocidad de flujo debe ser un dispositivo separado e independiente diseñado para conectarse al adaptador de medición de caudal, Figura L-30. Este estándar debe ser trazable a un estándar primario del NIST para el volumen o índice de flujo. Si los ajustes a la calibración del sistema de medición del caudal de la muestra se deben hacer junto con una auditoría del sistema de medición se realizarán después de la auditoría.

→

El dispositivo de medición del caudal del muestreador se volverá a calibrar después del mantenimiento electromecánico o el transporte del muestreador.

9.2 Procedimiento de calibración / verificación del caudal

→ Los muestreadores de PM 2.5 pueden emplear varios tipos de dispositivos de control de flujo y medición de flujo, su calibración variara según el tipo de controlador y medición de caudal empleada. La calibración se realizará en términos de las tasas de flujo volumétrico ambiental actual, medidas en el tubo descendente de entrada de la muestra.

→ El estándar de velocidad de flujo utilizado para su calibración debe tener su propia certificación y ser trazable a un estándar primario de NIST para el volumen o tasa de flujo. Se establecerá una relación de calibración para el estándar de velocidad de flujo, por ejemplo, una ecuación o curva que relacione la velocidad de flujo real con la lectura del indicador de caudal, con una precisión dentro del 2% sobre el rango esperado de Temperaturas ambiente y presiones a las que se puede usar el estándar de velocidad de flujo. El estándar de la tasa de flujo se debe volver a calibrar o volver a verificar al menos una vez al año

→ El dispositivo de medición del caudal del muestreador debe calibrarse o verificarse retirando la entrada del muestreador y conectando el estándar de caudal al tubo inferior de la muestra de acuerdo con el manual de funcionamiento, de modo que el estándar de caudal mida con precisión el caudal del muestreador. El operador de muestreo primero debe realizar una verificación de fugas del muestreador y verificar que no haya fugas entre el estándar de caudal y el muestreador.

→ La relación de calibración entre la tasa de flujo (en L / min real) indicada por el estándar de velocidad de flujo y por el dispositivo de medición de caudal del muestreador se debe establecer o verificar de acuerdo con el manual de operación del muestreador. Se pueden requerir correcciones de temperatura y presión para la tasa de flujo indicada por el estándar de velocidad de flujo para ciertos tipos de estándares de tasa de flujo. La calibración del dispositivo de medición de caudal del muestreador consistirá en al menos tres mediciones de caudal separadas (calibración multipunto) espaciadas uniformemente dentro del rango de -10% a = 10% del caudal operacional del muestreador. La verificación de la tasa de flujo de la muestra consistirá en una medición de la tasa de flujo a la tasa de flujo operacional de la muestra.

→ Si durante una verificación de tasa de flujo la lectura difiere en ± 4% o más del caudal medido por el estándar de tasa de flujo, se debe realizar una nueva calibración multipunto y la verificación del caudal debe ser repetido.de la muestra consistirá en una medición de la tasa de flujo a la tasa de flujo operacional de la muestra.

→ Luego de la calibración o verificación, el estándar de la tasa de flujo debe ser removido del muestreador y la entrada del muestreador debe ser reinstalada. Luego, la velocidad de flujo de operación normal de la muestra (en L / min) se determinará con un filtro limpio. Si el caudal indicado por el muestreador difiere en ± 2% o más del caudal de muestra requerido, el caudal del muestreador debe ajustarse al caudal requerido.

9 . 3

También se requiere la calibración o verificación periódica de la temperatura ambiente de la muestra, la temperatura del filtro y los sistemas de medición de presión barométrica.

Diagrama N°5. Procedimiento de medición de PM 2.5

11 MANTENIMIENTO DE MUESTRAS

11.1

La muestra se mantendrá según lo descrito por el fabricante de la muestra y de acuerdo con el programa de garantía de calidad específico desarrollado y establecido por el usuario

12 CÁLCULOS

12.1

La concentración de PM 2.5 se calcula como:

PM 2.5 = (W f - W i) / Va

Dónde:

PM 2.5 = concentración másica de PM 2.5 en µg / m³

W f, W i = pesos final e inicial, respectivamente, del filtro utilizado para recoger la muestra de partículas PM 2.5 en µg;

Va = volumen total de aire muestreado en unidades de volumen reales, según lo provisto por la muestra, m³.

NOTA:

EL TIEMPO TOTAL DE LA MUESTRA DEBE SER ENTRE 1.380 Y 1.500 MINUTOS (23 Y 25 HORAS) PARA UNA MUESTRA DE PM 2.5 TOTALMENTE VÁLIDA

Figura 21. Principio de medición de referencia y procedimiento de calibración para la medición de $PM_{2.5}$ en la atmosfera. Fuente. Tomado del 40 CFR parte 50 apéndice L y adaptado por autoras

40 CFR PARTE 58

APÉNDICE A

REQUISITOS DE GARANTÍA DE CALIDAD PARA LOS MONITORES UTILIZADOS EN LAS EVALUACIONES DE LOS ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTAL

INFORMACIÓN GENERAL

La **NAAQS** se alienta a las Organizaciones Primarias de Garantía de Calidad (PQAO) a desarrollar y mantener sistemas de calidad más extensos que los mínimos requeridos.

La **PQAO** es responsable de la supervisión de la calidad de datos de un conjunto de estaciones que monitorean el mismo contaminante y las cuales realizan evaluaciones de la calidad de datos, buscando organización y homogeneidad en equipo de operadores, uso y supervisión de plan de proyecto de aseguramiento de calidad (QAPP), instalaciones, estándares de calibración y apoyo de una agencia estatal o laboratorio.

Estos se tienen que describir y aprobar en los planes de gestión de calidad (QMP) y los planes de proyecto de garantía de calidad (QAPP) para garantizar los resultados de monitoreo. La gestión de la calidad de un QMP incluye la planificación estratégica, la asignación de recursos y otras actividades sistemáticas de planificación.

REQUISITOS DEL SISTEMA DE CALIDAD

Incertidumbre de medición para métodos automáticos y manuales de PM 2.5 Para los requisitos de rendimiento de calidad de datos esta la DQO (Data Quality Objectives) estos definen el tipo apropiado de datos para recopilar y especificar los niveles tolerables de posibles errores. La calidad de las conclusiones derivadas de la interpretación de los datos puede verse afectada por la incertidumbre de la población (espacial o temporal) y la incertidumbre de la medición (asociada a la recopilación, análisis, reducción y notificación de los datos de concentración).

INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN PARA MÉTODOS AUTOMÁTICOS Y MANUALES DE PM 2.5

El objetivo para la incertidumbre de medición aceptable para PM 2.5 se define para la precisión como un límite superior de confianza del 90 por ciento para el coeficiente de variación (CV) del 10 por ciento y ± 10 por ciento para el sesgo total.

PROGRAMAS NACIONALES DE EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO

El PQAO deberá prever la implementación de un programa de auditorias independientes y adecuadas de todos los monitores que proporcionen datos para el cumplimiento de NAAQS, incluida la provisión de recursos adecuados para dichos programas de auditoria.

EVALUACIÓN INDEPENDIENTE

Es una evaluación realizada por un individuo, grupo u organización calificada que no es parte de la organización que rinde directamente y rinde cuentas por el trabajo que se evalúa. Esta organización de auditoria no debe involucrarse con la generación de los datos de monitoreo del aire ambiental. Una organización puede realizar la evaluación de desempeño (PE) si puede cumplir con esta definición y tiene una estructura de gestión que, como mínimo, permitirá la separación de su personal de muestreo de rutina de su personal de auditoria por dos niveles de administración. Además, el análisis de muestra de los filtros de auditoria debe ser realizado por una instalación de laboratorio y un equipo de laboratorio separado de las instalaciones utilizadas para el análisis de muestras de rutina.

PROGRAMA DE AUDITORÍA DE SISTEMAS TÉCNICOS

Las auditorías de los sistemas técnicos de cada PQAO se realizarán al menos cada 3 años por la Oficina Regional de la EPA correspondiente y se informará al AQS. Si un PQAO se compone de más de una organización de monitoreo, todas las organizaciones de monitoreo en el PQAO deben ser auditadas dentro de los 6 años (dos ciclos de TSA del PQAO).

ESTÁNDARES DE AUDITORÍA DE CAUDAL

Las mediciones de velocidad de flujo deben realizarse con un instrumento de medición de flujo que sea trazable por NIST a un volumen autorizado u otro estándar aplicable.

REQUISITOS DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD DE MEDICIÓN

Son los requisitos para que la PQAO realice las comprobaciones de calidad de medición que se pueden usar para evaluar la calidad de los datos. Se requiere que los datos de estas comprobaciones se envíen al AQS dentro del mismo marco de tiempo que los datos de concentración ambiental recopilados rutinariamente

REQUISITOS DE VERIFICACIÓN DE CAUDAL DE PM 2.5 PARA LA CALIDAD DE MEDICIÓN

Se debe realizar la verificación de tasa de flujo al menos una vez al mes, la verificación se realizara a la tasa de flujo operacional del monitoreo, el ajustes de la tasa de flujo se deben realizar antes de su verificación Para el procedimiento estándar, utilice un estándar de transferencia de caudal certificado, para verificar la velocidad de flujo normal del monitor, se debe tener cuidado al seleccionar y usar el dispositivo de medición de caudal de modo que no altere la velocidad de flujo. Informe la tasa de flujo del estándar de transferencia y la tasa de flujo correspondiente medida por el monitor a AQS. Las diferencias porcentuales entre la auditoría y los índices de flujo medidos se utilizan para evaluar el sesgo de los datos de monitoreo como se describe en la sección 4.2.2 del apéndice A (utilizando tasas de flujo en lugar de concentraciones).

AUDITORÍA DE CAUDAL SEMESTRAL PARA PM 2.5

Audite el índice de flujo del monitor de partículas dos veces al año con espacios de 5 y 7 meses. Aunque la EPA recomienda una auditoría más frecuente. La auditoría debe ser realizada por un técnico capacitado y experimentado que no sea el operador habitual del sitio preferiblemente. La auditoría se realiza midiendo la velocidad de flujo operativo normal del monitor utilizando un estándar de transferencia de tasa de flujo certificado. El estándar de velocidad de flujo utilizado para la auditoría no debe ser el mismo estándar de tasa de flujo utilizado para las verificaciones o para calibrar el monitor. Sin embargo, tanto el estándar de calibración como el estándar de auditoría pueden referenciarse al mismo índice de flujo o volumen primario. Se debe tener cuidado al auditar el caudal para asegurarse de que el dispositivo de medición de flujo no altere la velocidad de flujo de operación normal del monitor. Informe la tasa de flujo de auditoría del estándar de transferencia y la tasa de flujo correspondiente medida por el monitor a AQS. Las diferencias porcentuales entre estos índices de flujo se utilizan para evaluar el rendimiento del monitor.

PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO DE CONTROL DE CALIDAD COLOCADOS PARA PM 2.5

Para cada par de monitores colocados, designe un muestreador como el monitor principal cuyas concentraciones se usarán para informar la calidad del aire para el sitio, y designe al otro como el monitor de control de calidad. Solo puede haber un monitor primario en un sitio de monitoreo durante un período de tiempo determinado. Para cada método de monitoreo (FRM o FEM) el PQAO debe tener 15 por ciento de los monitores primarios de cada designación de método colocados (valores de 0.5 y mayor redondeo); y tener al menos un monitor de control de calidad coubicado* (si el número total de monitores es menor a tres). El primer monitor coubicado* debe ser un monitor FRM designado.

LOS MONITORES DEBEN CUMPLIR CON ESTOS REQUISITOS:

(a) Un monitor primario designado como FRM de la EPA se colocará junto con un monitor de control de calidad que tenga la misma designación del método FRM de la EPA.
(b) Para cada monitor primario designado como FEM de EPA utilizado por PQAO, el 50 % de los monitores designados para colocación, o la primera si solo una colocación es necesaria, se colocará junto con un monitor de control de calidad de FRM y el 50 % del los monitores se colocarán junto con un monitor que tenga la misma designación de método que el monitor principal FEM. Si se requiere un número impar de monitores colocados, el monitor adicional debe ser un monitor de control de calidad FRM. A continuación, se proporciona un ejemplo de la distribución de monitores colocados para cada FEM único. La Tabla A-2 de este apéndice demuestra el procedimiento de colocación con un PQAO que tiene un tipo de FRM primaria y múltiples FEM primarios.
(c) Un sitio de supervisión, un sitio solo puede contar para la ubicación de la designación del método del monitor principal en ese sitio.

LOS MONITORES COLOCADOS DEBEN DESPLEGARSE DE ACUERDO CON EL SIGUIENTE PROTOCOLO:

(a) 50% de los monitores de control de calidad colocados deberían desplegarse en sitios con concentraciones promedio anuales o diarias estimadas en más o menos 20 % de las NAAQS anuales o de 24 horas y el resto a discreción de PQAO, si una organización no cuenta con lo mencionado el 50 % de los monitores de control de calidad serán medidas en horas con concentraciones más altas
(b) Los dos monitores colocados deben estar dentro de los 4 metros (entrada a la entrada) entre sí y separados por lo menos 2 metros para caudales superiores a 200 litros / min o al menos 1 metro de separación para muestreadores con caudales inferiores a 200 litros / min para evitar la interferencia del flujo de aire. El administrador regional puede aprobar una exención que permita hasta 10 metros de distancia horizontal y hasta 3 metros de distancia vertical (a la entrada) entre un muestreador principal y uno compartido para sitios en un vecindario o escala mayor de representación durante la aprobación anual del plan de red proceso. Las metodologías analíticas y de muestreo deben implementarse consistentemente tanto para muestreadores de control de calidad primarios como colocados y para todos los otros muestreadores en la red. Si esto no se cumple se debe informar a la PEP de la EPA.
(c) Muestree el monitor de control de calidad colocado en un cronograma de 1 en 12 días. Informe las mediciones de los monitores de control de calidad primarios y colocados en cada sitio de muestreo coubicado a AQS. Los cálculos para evaluar la precisión entre los dos monitores colocados se describen en la sección 4.2.1 de este apéndice.

#FEMS primarios de una designación de método única	#Collocated	#Collocated con un FRM	# Colisión con la misma designación de método
1-9	1	1	0
10-16	2	1	1
17-23	3	2	1
24-29	4	2	2
30-36	5	3	2
37-43	6	3	3

Tabla A-2. Procedimiento de colocación con un PQAO que tiene un tipo de FRM primaria y múltiples FEM primarios

PROCEDIMIENTOS DEL PROGRAMA DE EVALUACION DE DESEMPEÑO (PEP) PARA PM 2.5

Es utilizada para estimar el sesgo del sistema de medición, estas evaluación se realizan anualmente dentro de cada PQAO, dependiendo de cuantos sitios de monitoreo se deberán hacer las auditorias, para los sitios con menos de 5 se deberán hacer 5 auditorías y para los sitios con más de 5 son 8 auditorías. Una auditoría de evaluación de rendimiento válida significa que tanto el monitor principal como las concentraciones de auditoría PEP son válidas y superiores a 3 µg / m^3.
Cada monitor designado debe tener todos los muestreadores (FRM,FEM O ARM) sujetos a estas auditorías por lo menos cada 6 años.

CALCULOS PARA LAS EVALUACIONES DE CALIDAD DE DATOS

La EPA proporcionará evaluaciones anuales de la calidad de los datos agregados por sitio y PQAO para SO2, NO2, O3 y CO y por PQAO para PM10, PM2.5 y Pb.
Los pares de mediciones colocados se seleccionan para usar en los cálculos de precisión y sesgo solo cuando ambas medidas son iguales o superiores a 3µg/m^3 para PM 2.5.

ESTADISTICAS PARA LA EVALUACION DE PM 2.5

Estimación de precisión del muestreador para el control de calidad, esta se estima a través de mediciones duplicadas, con una recomendación de precisión de nivel de PQAO trimestralmente, anualmente y a 3 años. Estos datos se consideran validos solo si cumplen con el valor límite ya mencionado para PM 2.5. Para cada uno de estos datos se calcula el porcentaje relativo di usando la siguiente ecuación:

$$d_i = \frac{X_i - Y_i}{(X_i + Y_i)/2} \cdot 100$$

Para esta ecuación Xi es la concentración de la muestra primaria e Y i es el valor de concentración de la muestra de auditoría. El límite superior del coeficiente de variación se calcula de la siguiente manera:

$$CV = \sqrt{\frac{n \cdot \sum_{i=1}^{n} d_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} d_i\right)^2}{2n(n-1)}} \cdot \sqrt{\frac{n-1}{X^2_{0.1,n-1}}}$$

Donde n es el número de pares de datos válidos agregados, y X 2 0.1, n-1 es el percentil 10 de una distribución chi-cuadrado con n-1 grados de libertad. El factor de 2 en el denominador se ajusta por el hecho de que cada d i se calcula a partir de dos valores con error.

ESTIMACIÓN DEL SESGO DE VERIFICACIÓN DEL CAUDAL DE UN PUNTO Y ESTIMACIÓN DEL SESGO DE AUDITORIA DEL CAUDAL DEL FLUJO SEMESTRAL PARA PM 2.5

Para calcular la verificación de la tasa de flujo de un punto, se calcula la diferencia puntual con la siguiente ecuación donde "meas" es el valor indicado por la medición del volumen de la muestra y "audit" es el volumen real indicado por el medidor de flujo de la auditoria.

$$d_i = \frac{meas - audit}{audit} \cdot 100$$

El límite superior del sesgo de volumen absoluto se calcula usando la siguiente ecuación:

$$|bias| = AB + t_{0.95,n-1} \cdot \frac{AS}{\sqrt{n}}$$

Donde n es el número de auditorías de caudal que se agregan; t 0,95, n-1 es el 95 ° cuartil de una distribución t con n-1 grados de libertad. la cantidad AB es la media de los valores absolutos de la di y se calcula utilizando la ecuación

$$AB = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} |d_i|$$

y la cantidad AS en la "equation 3" es la desviación estándar de los valores absolutos si di's y se calcula utilizando la ecuación .

$$AS = \sqrt{\frac{n \cdot \sum_{i=1}^{n} |d_i|^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} |d_i|\right)^2}{n(n-1)}}$$

Estimación del sesgo de los programas de evaluación del rendimiento para PM 2.5.
Se basa en las diferencias porcen[illegible] a ecuación

$$d_i = \frac{meas - audit}{audit} \cdot 100$$

La diferencia porcentual media, D, se calcula mediante la ecuación

$$|bias| = AB + t_{0.95,n-1} \cdot \frac{AS}{\sqrt{n}}$$

donde n j es el número de pares yd 1 , d 2, ... d nj son los sesgos para cada par a promediar.

REQUISITOS DE INFORMES

Para cada contaminante, prepare una lista de todos los sitios de monitoreo y sus códigos de identificación del sitio AQS en cada PQAO y envíe la lista a la Oficina Regional de la EPA correspondiente, con una copia a AQS. Siempre que haya un cambio en esta lista de los sitios de monitoreo en un PQAO, tiene que informar el cambio a la Oficina Regional de la EPA y a AQS. Para cada trimestre, cada PQAO deberá informar directamente a AQS los resultados de todas las verificaciones de calidad de medición válidas que haya llevado a cabo durante el trimestre.

Figura 22. Requisitos de garantía de calidad para los monitores utilizados en las evaluaciones de los estándares nacionales de calidad del aire ambiental. Fuente. Tomado del 40 CFR parte 58 apéndice A y adaptado por autoras.

40 CFR PARTE 58

APÉNDICE C

METODOLOGÍA DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE

Este apéndice especifica los criterios de los métodos de monitoreo de contaminantes (métodos manuales o analizadores automáticos) que se deben usar en las estaciones SLAMS y NCore que son un subconjunto de SLAMS.r aplicable.

RED DE MONITORIO DEL SLAM

Aprobación de métodos PM 2.5. Métodos regionales aprobados (ARM) para PM 2.5, El ARM demostrara el cumplimiento de requisitos para los métodos equivalentes PM 2.5 Clase III, Para una red de sitios operados por una agencia de informes u organización primaria de aseguramiento de la calidad, las pruebas se realizarán en un subconjunto de sitios para incluir un sitio en cada MSA / CSA, hasta las primeras 2 poblaciones MSA / CSA con mayor población y al menos una área rural o sitio del área estadística Micropolitan. Si el ARM para una red ya está aprobado para los propósitos de esta sección en la red de otra agencia, las pruebas subsiguientes deberán ocurrir mínimamente en un sitio en un MSA / CSA y un área rural o área estadística Micropolitan.

No se requerirá la determinación de la relación PM 2.5 / PM 10 en el sitio de prueba.

RED DE MONITORIO DEL SLAM

Se debe generar un mínimo de 90 pares de muestras válidas por sitio para el año con no menos de 20 pares de muestras válidas por temporada para demostrar que el sesgo aditivo, el sesgo multiplicativo y la correlación, Se puede generar un par de muestras válidas con tan solo un FRM válido y una medición de ARM candidata válida por día.
Para determinar el sesgo, se pueden excluir los datos FRM con concentraciones menores a 3µg/m³. La exclusión de datos no da como resultado la falla de la integridad de la muestra especificada en esta sección, la transformación de datos puede ser lineal o no lineal, pero debe aplicarse de igual manera a los sitios utilizados en la prueba.
La agencia de monitoreo que desee utilizar un ARM debe desarrollar e implementar procedimientos apropiados de garantía de calidad para el método. Además, se requiere que sea operado constantemente a través de la red, con una frecuencia de muestreo por hora con datos adecuados para las mediciones diarias de 24 horas, el ARM debe usar los dispositivos de entrada y separación que estén aprobados en los métodos de referencia y proporcionar auditorias de flujo.
Si se utilizan transformaciones de datos, deben describirse en el plan del Proyecto de garantía de calidad de las agencias de supervisión (o adenda a QAPP).

LAS EVALUACIONES DE LA CALIDAD DE LOS DATOS SEGUIRÁN LAS MISMAS FRECUENCIAS DE LOS CÁLCULOS REQUERIDOS EN EL APÉNDICE A LAS SIGUIENTES EXCEPCIONES:

La colocación de ARM con muestreadores FRM / FEM se debe mantener en un mínimo del 30% de los sitios SLAMS requeridos con un mínimo de 1 por red, 2 Todos los muestreadores FRM / FEM colocados deben mantener una frecuencia de muestreo de al menos 1 en 6 días de muestra, los datos de FRM / FEM se sustituirán por cualquier trimestre calendario en que un método ARM tenga datos incompletos.
La ubicación con un ARM esta parte al fin de determinar el coeficiente de variación del método se llevará a cabo un mínimo de 7.5% de los sitios con un diminuto de 1 por red. Para la mitad de la ubicación requerida de FRM / FEM (15%) para ser situados con el mismo método. La evaluación del sesgo con una auditoría independiente del sistema de medición total se realizará con la misma frecuencia que una FEM.

SOLICITUDES DE APROBACIÓN; RETIRO DE LA APROBACIÓN.

Las solicitudes de aprobación de un ARM deben incluir una descripción de: los sitios, el material particulado que se espere encontrar en el sitio, método, muestreador o analizador, procesamientos de garantía y los procedimientos para evaluar la precisión del método. Una breve declaración de los motivos de la solicitud y los resultados de la prueba de comparabilidad. La solicitud tendrá 120 días para ser aprobada o desaprobarla.

USO DE MUESTREADORES DE MEJORAMIENTO

El uso de muestreadores es mejor de un sitio de SLAMS, se pueden usar para monitorear el fondo regional y las concentraciones regionales de transporte de partículas finas.

Los muestreadores mejoran el desarrollarlo para su uso en la red de Supervisión Interinstitucional de Entornos Visuales Protegido mejoran las características de todos los componentes principales y muchos constituyentes de trazas del material particulado que afectan la visibilidad en las Áreas de Clase I Federal.
Para las estaciones de monitoreo de NCore en cuanto a PM 2.5 debe ser con métodos de referencia equivalentes.

SUB PARTE C

Procedimiento de prueba para métodos de clase I para PM 2.5.
No se permite aumentar las concentraciones de contaminantes, por lo tanto los sitios de prueba apropiados deben seleccionarse para proporcionar el número mínimo de conjuntos de medidas de prueba para cumplir con los requisitos de concentraciones de PM 2.5 en los rangos especificados en la tabla C-4 de esta subparte.

Especificación	$PM^{2.5}$		
	Clase I	Clase II	Clase III
Rango de concentración aceptable (R^{1}), µg / m^3	3-200	3-200	3-200
Número mínimo de sitios de prueba	1	2	4
Número mínimo de muestras de métodos candidatos o analizadores por sitio	3	3 [1]	3 [1]
Número de muestreadores de métodos de referencia por sitio	3	3 [1]	3 [1]
Número mínimo de conjuntos de muestras aceptables por sitio para los métodos equivalentes candidatos $PM^{2.5}$ y $PM^{10-2.5}$;			
Cada estación	23	23	23
Total, cada sitio	23	23 (46 para sitios de dos estaciones)	23
Precisión de mediciones del método de referencia replicado, P^{Rj} o RP^{Rj} , respectivamente; RP para Clase II o III $PM^{2.5}$ o $PM^{10-2.5}$, máximo	2 µg / m^3 o 5%	10% [2]	10% [2]
Precisión del método candidato $PM^{2.5}$ o $PM^{10-2.5}$, CP, cada sitio	15% [2]	15% [2]	15% [2]
Pendiente de la relación de regresión	1 ± 0.05	1 ± 0.10	1 ± 0.10
Intercepción de la relación de regresión, µg / m^3	0 ± 1	Entre: 13.55 - (15.05 × pendiente), pero no menos de -1.5; y 16.56 - (15.05 × pendiente), pero no más de 1.5	Entre: 15.05 - (pendiente 17.32 ×), pero no menos de -2.0; y 15.05 - (13.20 × pendiente), pero no más de 2.0

Solo se requiere un sitio de prueba, y el sitio necesita cumplir con los niveles de concentración ambiental de PM 2.5 requeridos por la tabla C-4 se requiere un total de 10 conjuntos de medidas válidos. Para la selección también necesitan que el área del sitio tenga concentraciones moderadas de diversos contaminantes, el sitio debe estar muy bien identificado con uso de mapas y con una buena descripción general del lugar.
Si se desea la aprobación de uno o más sitios de prueba propuestos antes de realizar las pruebas, se debe presentar una solicitud por escrito.

PROCEDIMIENTO DE PRUEBA PARA LOS MÉTODOS DE CLASE II Y CLASE III PARA PM 2.5

Clase II y Clase III candidatos métodos equivalentes deberán ser aprobados para la compatibilidad de PM 2.5, Los sitios de prueba deben elegirse para proporcionar características químicas y meteorológicas representativas con respecto a nitratos, sulfatos, compuestos orgánicos y varios niveles de temperatura, humedad, viento y elevación. Para los métodos de Clase III, se seleccionará un sitio de prueba en cada uno de los cuatro siguientes lugares (A, B, C y D). Para los métodos de Clase II, dos sitios de prueba, un sitio occidental (A o B) y un sitio del medio oeste u oriental (C o D), se seleccionarán de estos lugares.
(A) El sitio de prueba A debe estar en un lugar que se caracterice por concentraciones relativamente altas de PM 2.5, nitratos y contaminantes orgánicos semivolátiles.
(B) El sitio de prueba B debe estar en un área caracterizada por clima frío, elevación más alta, vientos y polvo.
(C) El sitio de prueba C se ubicará en un lugar caracterizado por variaciones sustanciales de temperatura, altos niveles de nitratos y condiciones de invierno.
(D) El sitio de prueba D debe estar caracterizada estacionalmente por altas concentraciones de sulfato y alta humedad relativa.

MEDICIONES COLOCADAS

Para cada campaña de prueba, tres muestreadores de métodos de referencia y tres muestreadores o analizadores de métodos candidatos se instalarán y operarán concurrentemente en cada sitio de prueba dentro de cada temporada. Todos los muestreadores de métodos de referencia deben ser de diseño de filtro un único (no multi-filtro, diseño de muestra secuencial). Cada método candidato se configurará y se operarára de acuerdo con el manual asociado (La cual deberá brindar una descripción completa y detallada de los procedimientos operaciones de mantenimiento y calibración) y de acuerdo con la guía aplicable en "Documento de Garantía de Calidad. Todos los muestreadores o analizadores se colocarán de modo que muestreen o midan el aire representativo del área circundante (dentro de un kilómetro) y no se vean afectados por barreras o influencias locales. Los puntos de entrada de aire ambiental de todos los muestreadores y analizadores deben colocarse a la misma altura sobre el nivel del suelo y entre 2 metros (1 metro para instrumentos con tasas de flujo de entrada de muestra inferiores a 200 L / min) y 4 metros de separación.

Se debe obtener un mínimo de 23 conjuntos de mediciones válidas y aceptables de PM 2,5, mediciones de concentración simultáneas de 24 horas (nominales) durante cada campaña de prueba en cada sitio de prueba. Para que se considere aceptable para la prueba, cada conjunto de medidas consistirá en al menos dos mediciones válidas de métodos de referencia y al menos dos mediciones válidas de métodos candidatos(equivalentes) , y la concentración medida PM 2.5, según lo determinado por el promedio de la referencia del método, deben estar dentro del rango aceptable de concentración especificado en la tabla C-4. Cada conjunto de medidas incluirá todas las mediciones válidas obtenidas. Para cada conjunto de medidas que contiene menos de tres mediciones de métodos de referencia o menos de tres mediciones de métodos candidatos (quivalentes), se debe proporcionar una explicación y una justificación apropiada para tener en cuenta la medición o medidas faltantes.

Se pueden obtener más de 23 conjuntos de medidas válidos durante una campaña de prueba particular para proporcionar un rango más ventajoso de concentraciones, condiciones más representativas, mediciones adicionales más altas o más bajas, o para mejorar la comparación de los métodos. Todos los conjuntos de datos válidos obtenidos durante cada campaña de prueba se presentarán y se incluirán en el análisis de los datos.

Las mediciones del método de referencia de la muestra integrada deberán ser de al menos 22 horas y no más de 25 horas de duración. Cada muestra de método de referencia se recuperará inmediatamente después de la toma de muestras y se analizará de acuerdo con el método de referencia para determinar la concentración medida de PM 2.5 en µg / m 3.
Las mediciones del método candidato (equi)se cronometrarán o procesarán para realizar el promedioo según corresponda para determinar una concentración media equivalente representativa del mismo período de tiempo que las mediciones del método de referencia de la muestra integrada simultánea, de modo que todas las mediciones en un conjunto de medidas sean representativas del mismo período de tiempo. Además, las mediciones de concentración promedio por hora se obtendrán de cada uno de los analizadores de métodos candidatos de la Clase III para cada conjunto de medidas válido y se presentarán como parte de los registros de la aplicación.

En las siguientes pruebas, todos los conjuntos de medidas obtenidos en un sitio de prueba particular, de ambas campañas estacionales, si corresponde, se combinarán y se incluirán en el análisis de datos de prueba para el sitio. Los datos obtenidos en diferentes sitios de prueba se analizarán por separado. Todas las mediciones deben informarse como se obtienen normalmente. En particular, ningún valor de medición negativo, si es aparentemente válido, debería modificarse. Las concentraciones calculadas deben retener al menos una resolución de orden de magnitud mayor que los valores de entrada.

Figura 23. Metodología del monitoreo de la calidad del aire ambiente. Fuente. Tomado del 40 CFR parte 58 apéndice C y adaptado por autoras.

40 CFR PARTE 58

APÉNDICE D

CRITERIOS DE DISEÑO DE RED PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTAL

INFORMACIÓN GENERAL

El propósito de este apéndice es describir los objetivos de monitoreo y los criterios generales que se aplicarán para establecer las estaciones de monitoreo de calidad del aire ambiental SLAMS requeridos ,para elegir ubicaciones generales para sitios de monitoreo adicionales. Este apéndice también describe los requisitos específicos para PM 2.5. Estos criterios serán utilizados por la EPA para evaluar la idoneidad de las redes de monitoreo de contaminantes del aire.

MONITOREO DE OBJETIVOS Y ESCALAS ESPACIALES

Las redes de monitoreo del aire ambiental deben estar diseñadas para cumplir con tres objetivos de monitoreo. Cada objetivo debe considerarse individualmente.
1)Proporcionar datos de contaminación del aire al público en general de manera oportuna.
2)Apoyar el cumplimiento de los estándares de calidad del aire y el desarrollo de la estrategia de emisiones. Los datos de los monitores FRM, FEM y ARM para los contaminantes NAAQS se utilizarán para comparar los niveles de contaminación del aire.

MONITOREO DE OBJETIVOS Y ESCALAS ESPACIALES

SLAMS, y especialmente los datos de la estación NCore, se utilizarán para evaluar los modelos regionales de calidad del aire utilizados en el desarrollo de estrategias de emisión y para rastrear las tendencias en el impacto de las medidas de control de la contaminación del aire para mejorar la calidad del aire.

3)Apoyo para estudios de investigación de contaminación del aire. Los datos de contaminación del aire de la red NCore se pueden usar para complementar los datos recopilados por investigadores que trabajan en evaluaciones de efectos sobre la salud y procesos atmosféricos, o para monitorear el trabajo de desarrollo de métodos.

Para apoyar el trabajo de gestión de la calidad del aire indicado en los tres objetivos básicos de monitoreo del aire, una red debe diseñarse con una variedad de tipos de sitios de monitoreo. Sitios donde se pueda determinar concentraciones altas, concentraciones típicas en áreas de alta densidad poblacional, impactos de fuentes significativas, concentraciones de fondo, alcance de transporte regional y sitios donde se pueda visibilizar los impactos de contaminación en la vegetación.

Para aclarar la naturaleza del vínculo entre los objetivos generales de monitoreo, los tipos de sitios y la ubicación física de un monitor en particular, se define el concepto de escala espacial de representatividad. El objetivo de ubicar monitores es hacer coincidir correctamente la escala espacial representada por la muestra de aire monitoreado con la escala espacial más apropiada para el tipo de sitio de monitoreo, el contaminante del aire a medir y el objetivo de monitoreo. Las escalas de representatividad de mayor interés para los tipos de sitios de monitoreo descritos anteriormente son las siguientes:

1)**Microescala**: Áreas que van de 1- 100.
2) **Escala media**: Áreas que van de 100 metros hasta 0.5 kilómetros.
3) **Escala de vecindad**: Concentraciones dentro de un área extendida de la ciudad que tiene un uso de tierra relativamente uniforme con dimensiones en el rango de 0.5 a 4.0 kilómetros.
4) **Escala urbana:** Define las concentraciones dentro de un área de dimensiones tipo ciudad, del orden de 4 a 50 kilómetros.
5) **Escala regional**: Define generalmente un área rural de una geografía razonablemente homogénea sin grandes fuentes, y se extiende desde decenas hasta cientos de kilómetros.
6) **Escalas nacionales y globales**: estas escalas de medición representan concentraciones que caracterizan a la nación y al globo como un todo.

ESCALAS ESPACIALES

Se ilustra la relación entre los diversos tipos de sitios que pueden usarse para respaldar los tres objetivos básicos de monitoreo y las escalas de representatividad que generalmente son más apropiadas para ese tipo de sitio. (Ver Tabla D-1)

TABLA D-1 RELACIÓN ENTRE LOS TIPOS DE SITIOS Y LAS ESCALAS DE REPRESENTATIVIDAD

Tipo de sitio	Escalas de ubicación apropiadas
1. Mayor concentración	Micro, medio, barrio (a veces urbano o regional para contaminantes formados secundariamente).
2. Orientada a la población	Barrio, urbano.
3. Impacto de la fuente	Micro, medio, barrio.
4. Transporte general / de fondo y regional	Urbano, regional.
5. Impactos relacionados con el bienestar	Urbano, regional.

REQUISITOS GENERALES DE MONITOREO

El sistema nacional de monitoreo de aire ambiental incluye varios tipos de estaciones de monitoreo, cada una enfocada en una necesidad clave de recolección de datos y los equipos varía en sofisticación técnica.
Los sitios de grado de investigación son plataformas para estudios científicos.
Los múltiples sitios de NCore miden contaminantes múltiples con el fin de proporcionar soporte a las necesidades integradas de datos de gestión de la calidad del aire. Se deben usar métodos de monitoreo continuos. Como tal, los sitios NCore deben ubicarse lejos de las fuentes de emisión directa que podrían afectar sustancialmente la capacidad de detectar concentraciones de área amplia.
Los sitios de monitoreo designados como SLAMS, están destinados a abordar intereses específicos de la gestión de la calidad del aire, como tales son con frecuencia sitios de medición de un solo contaminante.

CRITERIOS DE DISEÑO PARA LOS SITIOS NCORE

Los sitios NCore deben medir, como mínimo, PM2.5 usando muestreadores continuos e integrados / basados en filtros especializados, PM 2,5 es PM 10-2.5 masa de partículas, O 3 , SO 2 , CO, NO / NO Y , velocidad del viento, dirección del viento, humedad relativa y temperatura ambiente. En algunos casos, la ubicación física del sitio NCore puede no ser adecuada para mediciones meteorológicas. También es posible que las mediciones meteorológicas cercanas puedan satisfacer esta necesidad de datos. En estos casos, el administrador puede renunciar al requisito de monitoreo meteorológico.
Se proporcionan criterios de ubicación para localizacióesn urbanas y rurales. Los sitios con el conjunto de mediciones NCore que están explícitamente diseñados para otros objetivos de monitoreo están exentos de estos criterios de ubicación (por ejemplo, un sitio cercano a la carretera).
Para las estaciones urbanas de NCore se ubicarán generalmente a escala urbana o de vecindario para proporcionar concentraciones representativas, para las rurales se deberá ubicar en la escala regional, lejos de cualquier emisión grande.

CRITERIOS DE DISEÑO ESPECÍFICOS DE CONTAMINANTES PARA SITIOS SLAMS

Las agencias estatales, en casos locales, deben operar el número mínimo de sitios requeridos PM 2.5 SLAMS enumerados en la Tabla D-5. Se espera que los sitios de NCore complementen la recopilación de datos de PM 2.5 que tiene lugar en sitios que no sean NCore o SLAMS, y ambos tipos de sitios pueden usarse para cumplir con los requisitos mínimos de red de PM 2.5 . Las desviaciones de estos requisitos de monitoreo PM 2.5 deben ser aprobadas por el Administrador Regional de la EPA.

TABLA D-5 REQUISITOS MÍNIMOS DE MONITOREO PARA PM 2.5

Población de MSA [1 2]	Valor de diseño de 3 años más recientes de ≥85% de cualquier PM [2.5] NNCAA [3]	Valor de diseño de 3 años más reciente <85% de cualquier PM [2.5] NAAQS [3 4]
> 1,000,000	3	2
500,000-1,000,000	2	1
50,000-<500,000 [5]	1	0

[1] Los requisitos mínimos de monitoreo se aplican al área estadística metropolitana (MSA).
[2] Población basada en las últimas cifras disponibles del censo.
[3] Los niveles y formularios de Estándares nacionales de calidad del aire ambiente (NAAQS) de PM 2.5 se definen en 40 CFR parte 50.
[4] Estos requisitos mínimos de monitoreo se aplican en ausencia de un valor de diseño.
[5] Las áreas estadísticas metropolitanas (MSA) deben contener un área urbanizada de 50,000 o más habitantes.

ESCALAS DE MONITOREO DE PM 2.5

Al menos una debe estar ubicada en un vecindario o en una escala mayor en un área de concentración máxima esperada, para áreas con SLAMS adicionales requeridos, una estación de monitoreo debe ubicarse en un área de mala calidad del aire.
La escala espacial más importante para caracterizar eficazmente las emisiones de PM 2.5 de fuentes móviles y estacionarias es la escala de vecindad. Para los propósitos de establecer sitios de monitoreo para representar áreas grandes y homogéneas que no sean las escalas de representatividad antes mencionadas y para caracterizar el transporte regional, también se necesitarían sitios de escala urbana o regional en el diagrama 1 se especifican estas escalas y su utilización para las diferentes mediciones de PM 2.5 .

Diagrama 1. Escalas para la medición de PM 2.5. Fuente: Autoras

REQUISITO PARA EL MONITOREO CONTINUO PARA PM 2.5.

El Estado o en su caso, las agencias locales deben operar analizadores PM 2.5 continuos equivalentes al menos la mitad. Al menos un analizador continuo requerido en cada MSA debe ubicarse con uno de los monitores FRM / FEM / ARM necesarios, a menos que al meno uno de los monitores FRM / FEM / ARM necesarios sea un monitor FEM o ARM continuo, en cuyo caso no hay colocación requisito aplica.

REQUISITO PARA PM 2.5 ANTECEDENTES Y SITIOS DE TRANSPORTE

Cada Estado instalará y operará al menos un sitio PM 2.5 para monitorear los antecedentes regionales y al menos un sitio PM 2.5 para monitorear el transporte regional. Las agencias estatales y locales de monitoreo del aire deben usar metodologías y procedimientos de QA / QC aprobados por el Administrador Regional de la EPA para estos sitios. Los métodos utilizados en estos sitios pueden incluir muestreos de métodos de referencia no federales, como los mejores monitores o continuos

REQUISITOS DEL SITIO DE ESPECIACIÓN QUÍMICA

Los sitios de tendencias urbanas de especiación química PM 2.5 incluirán análisis de elementos, aniones y cationes seleccionados, y carbono. Las muestras deben ser recolectadas usando los métodos de monitoreo y los programas de muestreo aprobados por el Administrador.

Figura 24. Criterios de diseño de red para el monitoreo de la calidad del aire ambiental. Fuente. Tomado del 40 CFR parte 58 apéndice D y adaptado por autoras.

40 CFR PARTE 58

APÉNDICE E

CRITERIOS DE UBICACIÓN DE LA TRAYECTORIA DE SONDA Y MONITOREO PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTAL

INFORMACIÓN GENERAL

Este apéndice contiene criterios de ubicación específicos aplicables a SLAMS, NCore y sondas de monitoreo de calidad del aire ambiente PAMS, rutas después de que se haya seleccionado la ubicación general en función de los objetivos de monitoreo y la escala de representación espacial. El cumplimiento de estos criterios de ubicación son necesarios para garantizar la recopilación del informe de datos de calidad del aire.

CRITERIOS DE LOCALIZACIÓN

Los criterios de localización de la sonda y la ruta de monitoreo discutidos en este apéndice se deben seguir exactamente. Se reconoce que puede haber situaciones en las que pueda ser necesaria cierta desviación de los criterios de ubicación. En cualquier caso, los motivos deben estar completamente documentados en una solicitud por escrito de una exención que describa cómo y por qué la ubicación propuesta se desvía de los criterios, Para los criterios específicos por contaminante generalmente se aplican a todas las escalas espaciales, salvo que se indique lo contrario.

COLOCACIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL

Se requiere que la sonda para monitoreo de los sitios PM 2.5 de escala media deben tener una distancia entre 2 y 7 metros sobre el nivel del suelo. Se necesitan que los sitios de microescala PM 2.5 deben tener una distancia entre 2 y 7 metros sobre el nivel del suelo. La sonda o al menos el 90 % de la trayectoria de monitoreo debe estar al menos 1 metro vertical u horizontalmente alejada de cualquier estructura de soporte, paredes, parapetos, penthouses, etc. lejos de áreas polvorientas o sucias. Si la sonda o una parte importante de la ruta de monitoreo se encuentra cerca del lado de un edificio o pared, debe ubicarse en el lado de barlovento del edificio con respecto a la dirección del viento predominante durante la temporada de mayor potencial de concentración para el contaminante siendo medido.

ESPACIADO DE FUENTES MENORES

Es importante comprender el objetivo del monitoreo para una ubicación particular a fin de interpretar este requisito en particular. Si el objetivo para ese sitio de monitoreo es investigar emisiones locales de contaminantes primarios, entonces es probable que el sitio esté ubicado adecuadamente. Este tipo de sitio de monitoreo con toda probabilidad será un tipo de sitio de monitoreo a microescala. Si se va a utilizar un sitio de monitoreo para determinar la calidad del aire en un área mucho más grande, como un vecindario o una ciudad, una agencia de monitoreo debe evitar colocar una sonda, camino o entrada de monitoreo cerca de fuentes locales menores. No debe permitirse que la pluma de las fuentes locales menores impacte de manera inapropiada los datos de calidad del aire recopilados en un sitio. Los sitios de materia particulado no deben ubicarse en un área sin pavimentar a menos que haya cobertura vegetal durante todo el año,

ESPACIADO DE OBSTRUCCIONES

Generalmente, una sonda o ruta de monitoreo localizado cerca o a lo largo de una pared vertical no es deseable porque el aire que se mueve a lo largo de la pared puede estar sujeto a posibles mecanismos de retirada, por lo tanto debe tener un flujo de aire sin restricciones en un arco de al menos 180 grados. Este arco debe incluir la dirección predominante del viento.

ESPACIADO DE OBSTRUCCIONES PARA PM 2.5

Para el muestreo de partículas, se requiere un mínimo de 2 metros de separación de las paredes, parapetos y estructuras para la ubicación en el tejado.
Se debe prestar especial atención al uso de analizadores de vía abierta debido a su posible sensibilidad inherente a ciertos tipos de interferencias u obstrucciones (Ver diagrama 1), Cualquiera de estas obstrucciones con la suficiente densidad para oscurecer el rayo de luz afectará la capacidad del analizador de trayectoria abierta para medir continuamente las concentraciones de contaminantes.

Obstrucciones ópticas	Obstrucciones ópticas temporales	Obstrucciones moviles
• Árboles • Arbustos • Edificios • Penachos • Polvo	• Lluvia • Partículas • Niebla • Nieve	• Actividad humana • Crecimiento de vegetación • Objetos que puedan moverse con el viento

Diagrama 1. Obstrucciones del analizador vía abierta. Fuente Autoras

ESPACIADO DE ÁRBOLES

Los árboles pueden actuar como obstrucciones en casos donde están ubicados entre las fuentes contaminantes del aire y el sitio de monitoreo, y donde los árboles tienen una altura y una densidad de dosel suficientes para interferir con el flujo de aire normal alrededor de la sonda, ruta de monitoreo. Para reducir esta posible interferencia / obstrucción, la sonda, la entrada o al menos el 90% de la ruta de monitoreo debe estar al menos a 10 metros o más lejos de la línea de riego por goteo de los árboles. Para sitios a microescala de cualquier contaminante del aire, no deben ubicarse árboles o arbustos entre la sonda y la fuente bajo investigación, como una carretera o una fuente estacionaria.

ESPACIADO PARA ENTRADAS DE MATERIA PARTICULADO

(a) Dado que las emisiones asociadas con la operación de vehículos automotores contribuyen a los niveles ambientales de material particulado del área urbana, es necesario un espaciado de los criterios de la carretera para garantizar la coherencia nacional en la ubicación de la muestra de PM.
(b) La intención es ubicar sitios de conexión localizados en áreas de altas concentraciones ya sea desde fuentes estacionarias móviles o múltiples. Si el área se ve afectada principalmente por fuentes móviles y las áreas máximas de concentración se consideran un corredor de tráfico o ubicación de cañón de calle, los monitores deben ubicarse cerca de carreteras con el mayor volumen de tráfico y a distancias separadas con mayor probabilidad de producir las concentraciones más altas. Para el sitio del corredor de tráfico a microescala, la ubicación debe estar entre 5 y 15 metros de la carretera principal. Para el sitio del cañón de la calle a microescala, la ubicación debe estar entre 2 y 10 metros de la carretera. Para el sitio de escala media, se muestra un rango de distancias aceptables desde la carretera en la figura E-1. Esta figura también incluye las distancias de separación entre una carretera y el vecindario o sitios de mayor escala por defecto. Cualquier sitio, de 2 a 15 metros de altura, y más atrás que los requisitos de la escala media generalmente será de escala local, urbana o regional.

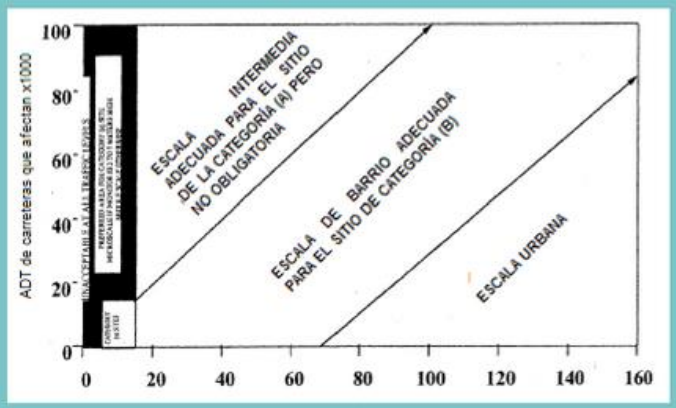


Figura E-1. Distancia de la muestra de PM a la linea de tráfico más cercana (metros)

INTERFERENCIAS ACUMULATIVAS EN UN RUTA DE MONITOREO

Este párrafo se aplica solo a los analizadores de ruta abierta. La longitud o parte acumulada de una ruta de monitoreo que se ve afectada por fuentes menores, árboles o carreteras no debe exceder el 10% de la longitud total de la ruta de monitoreo.

LONGITUD MÁXIMA DE RUTA DE SUPERVISIÓN

Este párrafo se aplica solo a los analizadores de ruta abierta. La longitud de la ruta de supervisión no debe exceder 1 kilómetro para los analizadores en escala vecinal, urbana o regional. Para sitios de monitoreo de escala media, la longitud de la ruta de monitoreo no debe exceder los 300 metros. En áreas sujetas a períodos frecuentes de polvo, niebla, lluvia o nieve, se debe considerar una longitud de ruta de monitoreo más corta para minimizar la pérdida de datos del monitoreo debido a estas obstrucciones ópticas temporales. Para ciertos escenarios de monitoreo de aire ambiental que utilizan analizadores de vía abierta, es posible que se necesiten longitudes de ruta más cortas para garantizar que el sitio de monitoreo cumpla con los objetivos y las escalas espaciales. El administrador regional puede requerir longitudes de ruta más cortas, según sea necesario de forma individual, para garantizar que los sitios de SLAMS cumplan con los requisitos.

DISPOSICIONES DE EXENCIÓN

Los sitios existentes pueden no cumplir con los requisitos y aun así producir datos útiles para algunos propósitos. La EPA considerará una solicitud por escrito de la agencia estatal para suspender uno o más criterios de ubicación para algunos sitios de monitoreo, siempre que el Estado pueda demostrar adecuadamente la necesidad de monitorear o establecer un sitio de monitoreo en ese lugar.

PARA ESTABLECER UN NUEVO SITIO, SE PUEDE OTORGAR UNA EXENCIÓN SOLO SI SE CUMPLEN LOS DOS CRITERIOS SIGUIENTES:

- Se puede demostrar que el sitio es representativo del área de monitoreo como lo sería si se cumplieran los criterios de ubicación.
- El monitor o la sonda no pueden ubicarse razonablemente para cumplir con los criterios de ubicación debido a limitaciones físicas (por ejemplo, la imposibilidad de ubicar el tipo de sitio requerido a la distancia necesaria de las carreteras u obstrucciones).

Sin embargo, para un sitio existente, se puede otorgar una exención si se cumple cualquiera de los criterios mencionados anteriormente

Los beneficios de costos, las tendencias históricas y otros factores se pueden usar para agregar soporte a la solicitud, sin embargo, en sí mismos, no serán razones aceptables para otorgar una exención. Las solicitudes escritas de exenciones deben enviarse al Administrador Regional.

RESUMEN

La Tabla E-4 de este apéndice presenta un resumen de los requisitos generales para los criterios de ubicación de la sonda y el camino de monitoreo con respecto a las distancias y alturas. De la Tabla E-4 se desprende que se muestran diferentes distancias de elevación sobre el suelo para los diversos contaminantes. La discusión en este apéndice para cada uno de los contaminantes describe las razones para elevar el monitor, la sonda o la ruta de monitoreo. Las diferencias en el rango de alturas especificado se basan en los gradientes de concentración verticales.

Contaminante	Escala (longitud máxima de la ruta monitoreo, metros)	Altura desde el suelo hasta la sonda, entrada o 80% de la ruta de monitoreo [1] (metros)	Distancia horizontal y vertical de las estructuras de soporte [2] a la sonda, a la entrada o al 90% de la ruta de monitoreo [1] (metros)	Distancia desde los árboles a la sonda, la entrada o el 90% de la ruta de monitoreo [1] (metros)	Distancia de las carreteras a la sonda, la entrada o la ruta de monitoreo [1] (metros)
PM, Pb [3 4 5 8]	Micro, Medio, Vecindario, Urbano y Regional	2-7 (micro); 2-7 (PM media [10-2.5]); 2-7 para cerca de la carretera; 2-15 (todas las demás escalas)	> 2 (todas las escalas, distancia horizontal solamente)	> 10 (todas las escalas)	2-10 (micro); verFigura E-1 de este apéndice para todas las demás escalas. ≤50 para cerca de la carretera.

Tabla E-4. Resumen de los criterios de localización de sonda y ruta de monitoreo

Figura 25 Criterios de ubicación de la trayectoria de sonda y monitoreo para el monitoreo de la calidad del aire ambiental. Fuente. Tomado del 40 CFR parte 58 apéndice E y adaptado por autoras.

40 CFR PARTE 58

APÉNDICE G

ÍNDICE UNIFORME DE CALIDAD DEL AIRE (ICA) E INFORMES DIARIOS

El AQI es una herramienta que simplifica informar la calidad del aire al público en general. La escala del índice se divide en categorías generales que están asociadas a mensajes de salud.

¿POR QUÉ REPORTAR EL AQI?

Simple de crear y entender y promueve el uso uniforme en todo el país.

El AQI es el valor más alto calculado sumándole 1 decimal, Usando la Tabla 2, encuentre los dos puntos de ruptura que contienen la concentración, para calcular el índice se usa la siguiente ecuación:

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} \left(C_p - BP_{Lo}\right) + I_{Lo}$$

I p = el valor del índice para el contaminante p

C p = la concentración truncada de contaminante p

BP Hi = el punto de corte que es mayor o igual que Cp

BP Lo = el punto de corte que es menor o igual que Cp

I Hi = el valor de AQI correspondiente a BPHi

I lo = el valor de AQI correspondiente a BPLo

Nota. Si un contaminante permanece debajo de los 5° durante un año puede excluirse.

¿QUÉ ENTRA EN MI INFORME AQI?

El AQI transforma las concentraciones ambientales en una escala de 0 a 500.Se ajusta según las NAAQS. En la mayoría de los casos, el valor de índice de 100 está asociado con el tiempo promedio de 24 horas. Para calcular el AQI se utiliza la concentración más alta del contaminante. En el informe se deben considerar por separado los subíndice de PM10 y PM 2.5. El contaminante responsable del valor más alto del índice (el AQI informado) se denomina contaminante "crítico".Solo los MSA con una población mayor a 350.000 personas deberán informar diariamente, este informe debe contener descripciones del sitio, periodo del informe, el contaminante con más niveles de concentración y se deberá incluir la descripción de la categoría AQI como se muestra en la siguiente tabla

TABLA

Para este AQI	Use este descriptor	Y este color [1]
0 a 50	"Bueno"	Verde.
51 a 100	"Moderar"	Amarillo.
101 a 150	"Insalubre para grupos sensibles"	Naranja.
151 a 200	"Insalubre"	Rojo.
201 a 300	"Muy poco saludable"	Púrpura.
301 y superior	"Peligroso"	Granate. [1]

Nota. Cuando los valores de PM 2.5 son mayores a 100, los grupos con mayor riesgo son las personas con enfermedades respiratorias o cardiacas, los ancianos y niños.

CÁLCULOS

El AQI transforma las concentraciones ambientales en una escala de 0 a 500.Se ajusta según las NAAQS. En la mayoría de los casos, el valor de índice de 100 está asociado con el tiempo promedio de 24 horas. Para calcular el AQI se utiliza la concentración más alta del contaminante. En el informe se deben considerar por separado los subíndice de PM10 y PM 2.5. El contaminante responsable del valor más alto del índice (el AQI informado) se denomina contaminante "crítico".

TABLA 2 - PUNTOS DE RUPTURA PARA EL AQI

puntos de ruptura	Igual a estos AQI	
PM [2.5] (µg / m [3]) 24 horas	AQI	Categoría
0.0 - 12.0	0-50	Bueno.
12.1 - 35.4	51-100	Moderar.
35.5 a 55.4	101-150	Poco saludable para grupos sensibles.
[3] 55.5 - 150.4	151-200	Insalubre.
[3] 150.5 - 250.4	201-300	Muy poco saludable.
[3] 250.5 - 350.4	301-400	Peligroso.
[3] 350.5 - 500.4	401-500	

Figura 26. Índice uniforme de calidad del aire. Fuente. Tomado del 40 CFR parte 58 apéndice G y adaptado por autoras.

4.3. PLAN DE SEGUMIENTO Y MONITOREO.

4.3.1. Objetivos.

Para el estudio de Sogamoso se debe realizar un SVCA tipo 1 indicativo por el número de habitantes que es menor a 150.000 en el casco urbano, pero debido a que en Sogamoso se encuentran 5 industrias cementeras, 1 de concretos y centrifugados, 5 metalúrgicas, 2 de metalúrgicas y siderúrgica, 1 metaleléctrica, 1 siderúrgica y 8 de transporte por el cual en el municipio hay problemas de $PM_{2.5}$ y se debe realizar un Sistema de tipo especial en los que se tiene en cuenta los siguientes objetivos;

1. Evaluar el riesgo para la salud humana.
2. Determinar posibles riesgos para el medio ambiente.
3. Estudiar fuentes e investigar quejas concretas.
4. Soportar investigaciones científicas.
5. Determinar el cumplimiento de la norma
6. Evaluar las estrategias de control de las autoridades ambientales
7. Observar las tendencias a mediano y corto plazo
8. Activar los procedimientos de control en situación de emergencia
9. Validar los modelos de calidad del aire

De las cuales para el ejemplo nos basaremos en los objetivos de los numerales 5 y 7.

4.3.2. Criterios de localizacion y ubicación.

Para un sistema de vigilancia especial se deben localizar las estaciones como mínimo de fondo vientos arriba y vientos abajo, fondo urbana, indicativas y estación de propósito especial, estos puntos se localizaron basados en la rosa de vientos de Sogamoso simulando una periodicidad mensual (ver figura 28), en la figura 29 se encuentran los puntos preliminares ubicados de acuerdo a la rosa de vientos anterior mencionada.

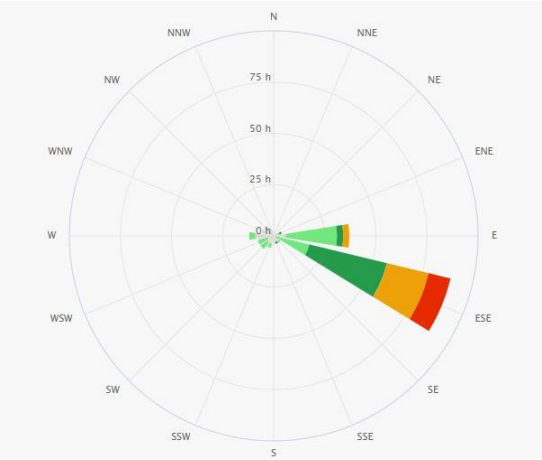


Figura 27. Rosa de vientos mensual de Sogamoso (ejemplo). Fuente. https://www.meteoblue.com/es/tiempo/archive/windrose/sogamoso_colombia_3667873

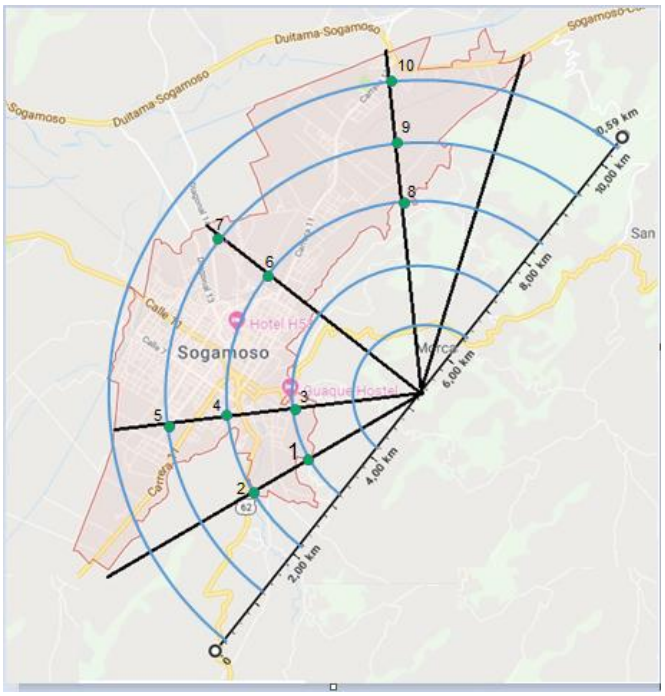


Figura 28. Puntos preliminares de Sogamoso. Fuente Autoras

4.3.3. Analisis de datos.

Para el ejemplo del análisis usamos los datos de concentración de $PM_{2.5}$ semanales horarias de la estación de Kennedy del 24 al 30 de septiembre del 2018, se tomaran como datos mensuales de Sogamoso, de acuerdo al 40 CRF parte 58 apéndice A, los datos no pueden ser menores a 3

µg/^{m3} para analizar la validez de los datos, la precisión del intervalo de confianza debe ser del 90% para el CV del 10%, se calculó con dos métodos; el método aritmético y el método geométrico esto con el fin de conocer si la media representa todos los datos muestreados, el intervalo de confianza del 90% está entre 22,14 y 27,55, el método aritmético cumple ya que nuestra media aritmética fue de 24,84 µg/^{m3}.

CONTAMINANTE						
Dato	Fecha		CONCENTRACIÓN PARTÍCULAS	CÁLCULOS ESTADÍSTICOS		
	INICIO	FINAL	µg/m^3	(Xi-Xprom)^2	Log Concent	(Xi-Xgeo)^2
SUMATORIA			4000,00	68815,34	205,62	75225,71
No. Datos						161
Max			181,00	Min		3,00
Sumatoria de datos			4000,00	Sumatoria Logaritmos		205,62
Media Aritmética			24,84	Promedio Log		1,28
Varianza (S^2)			438,09	Media Geométrica		18,93
Desviación típica			20,93	Varianza Geométrica		467,24
Desviación estándar relativa			1,65	Desviación geométrica		21,62
Coeficiente Variación			84,25	Coeficiente Variación		114,19
GRADOS DE LIBERTAD (n-1)			INTERVALO DE CONFIANZA	r	INTERVALO DE CONFIANZA	
					LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
160			0,9	1,640	22,14	27,55
160			0,95	1,960	21,61	28,08
160			0,99	$_{2.5}$70	20,61	29,08

Tabla 13. Análisis contaminante. Fuente cálculos de concentración. Murad J.2018

Condiciones meteorológicas: De los datos obtenidos se comparan cada uno de los datos meteorológicos (Velocidad del viento, temperatura, precipitación y humedad) con la concentración de PM $_{2.5}$ con el fin de analizar su influencia en correlacion con el contaminante usando diagramas de dispersión.

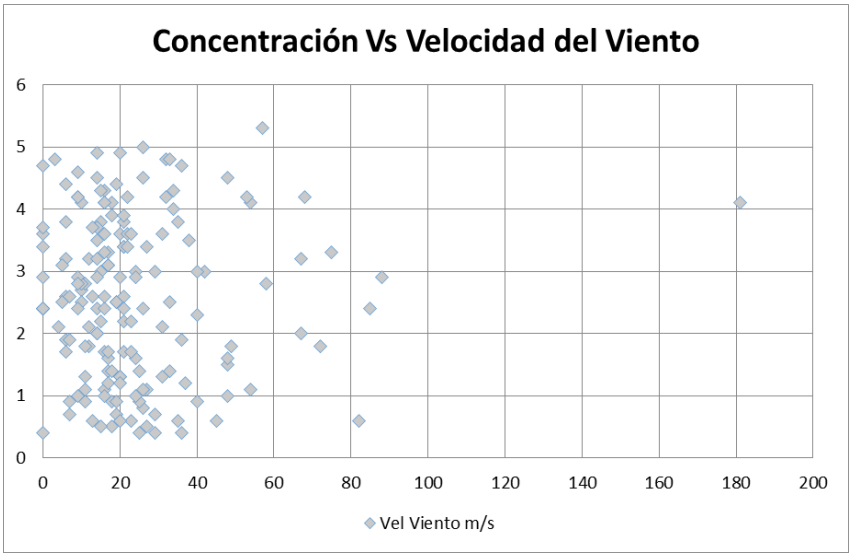


Figura 29. Concentración vs velocidad de viento. Fuente autoras

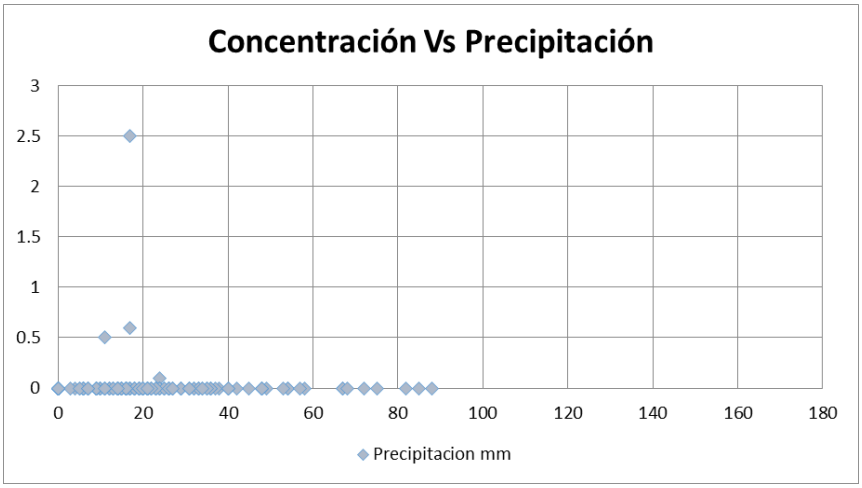


Figura 30. Concentración vs precipitación. Fuente autoras

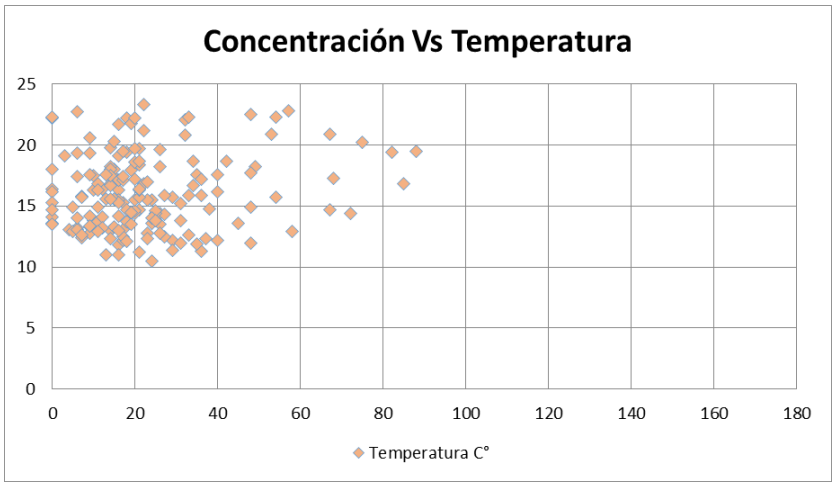


Figura 31. Concentración vs temperatura. Fuente autoras

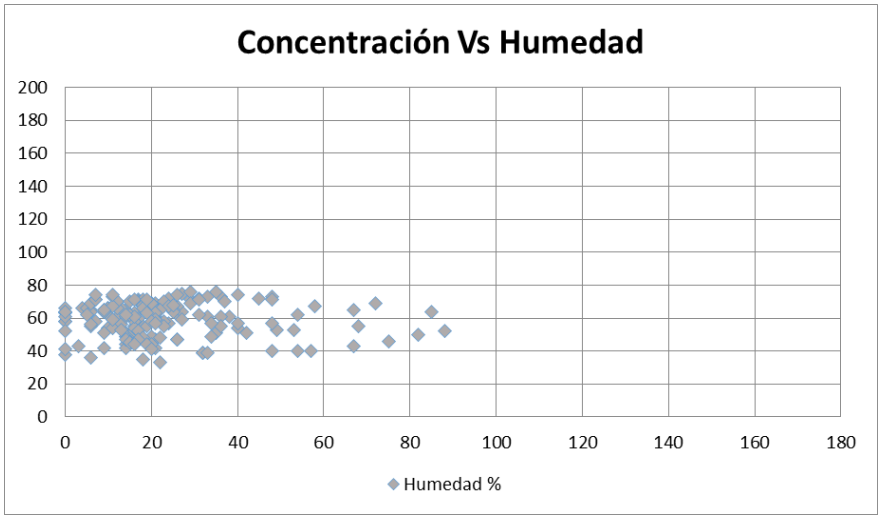


Figura 32. Concentración vs Humedad. Fuente autoras

Se usará la medicion y analisis por medio del coeficiente de correlación de Pearson debido a que "es un indice que puede utilizarse para medir el grado de relacion de dos variables siempre y cuando sean cuantitativas y continuas" (Wikipedia, 2018)

De acuerdo a la correlación de Pearson podemos analizar qué relación tiene la concentración con los factores meteorológicos, los resultados se puede observar en la tabla N. 14

Correlación de Pearson	
PM $_{2.5}$ - VV	0,02631879
PM $_{2.5}$ – Temperatura	0,18510798
PM $_{2.5}$ - Precipitación	-0,03858304
PM $_{2.5}$ - Humedad	-0,08069167

Tabla 14Correlación de Pearson. Fuente autoras

De acuerdo al coeficiente de correlación Pearson se pudo determinar que la relacion en cada uno de los factores es nula debido a que sus puntos estan entre 0 y 0.25 como lo representa la figura 33.

De 0 - 0.25: Se considera la relación escasa o nula
0.26 - 0.50: Relación débil
0.51 - 0.75: Relación entre moderada y fuerte
0.76 - 1.00: Relación entre fuerte y perfecta

Concentración Vs Velocidad del Viento: Relación nula

Concentración Vs Precipitación: Relación nula

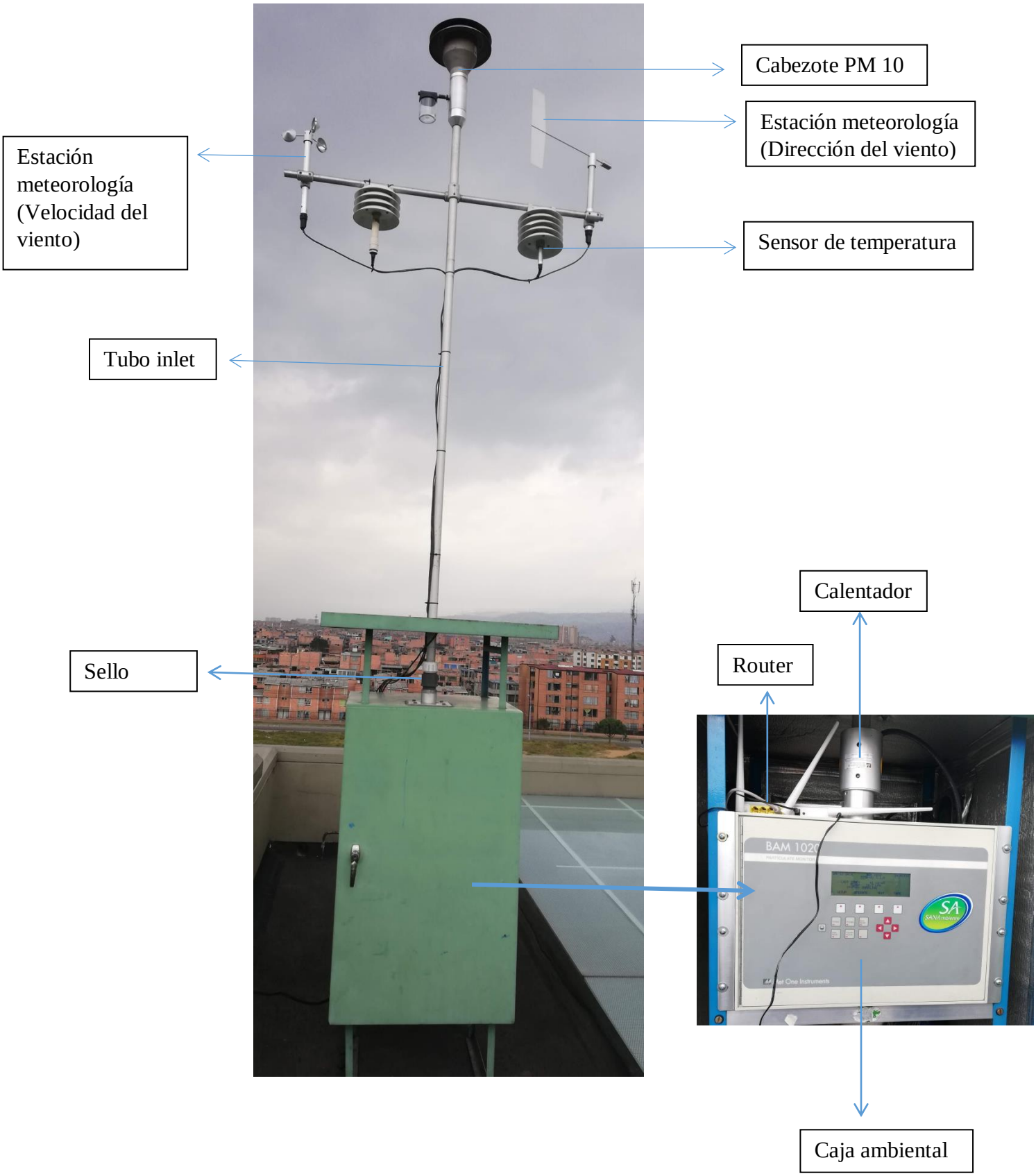
Concentración Vs Temperatura: Relación nula

Concentración Vs Humedad: Relación nula

Figura 33.Interpretación de Correlación de Pearson. Fuente http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14805/00798291.pdf?sequence=1&isAllowed=y

4.3.4. Selección de equipos.

En la figura N 34 se identificaron las partes del equipo BAM 1020, el cual se empleará para las mediciones del programa de monitoreo y seguimiento de calidad del aire; el cual se realizó con ayuda del manual del distribuidor.


Cabezote PM 10
Estación meteorología (Dirección del viento)
Estación meteorología (Velocidad del viento)
Sensor de temperatura
Tubo inlet
Calentador
Router
Sello
Caja ambiental

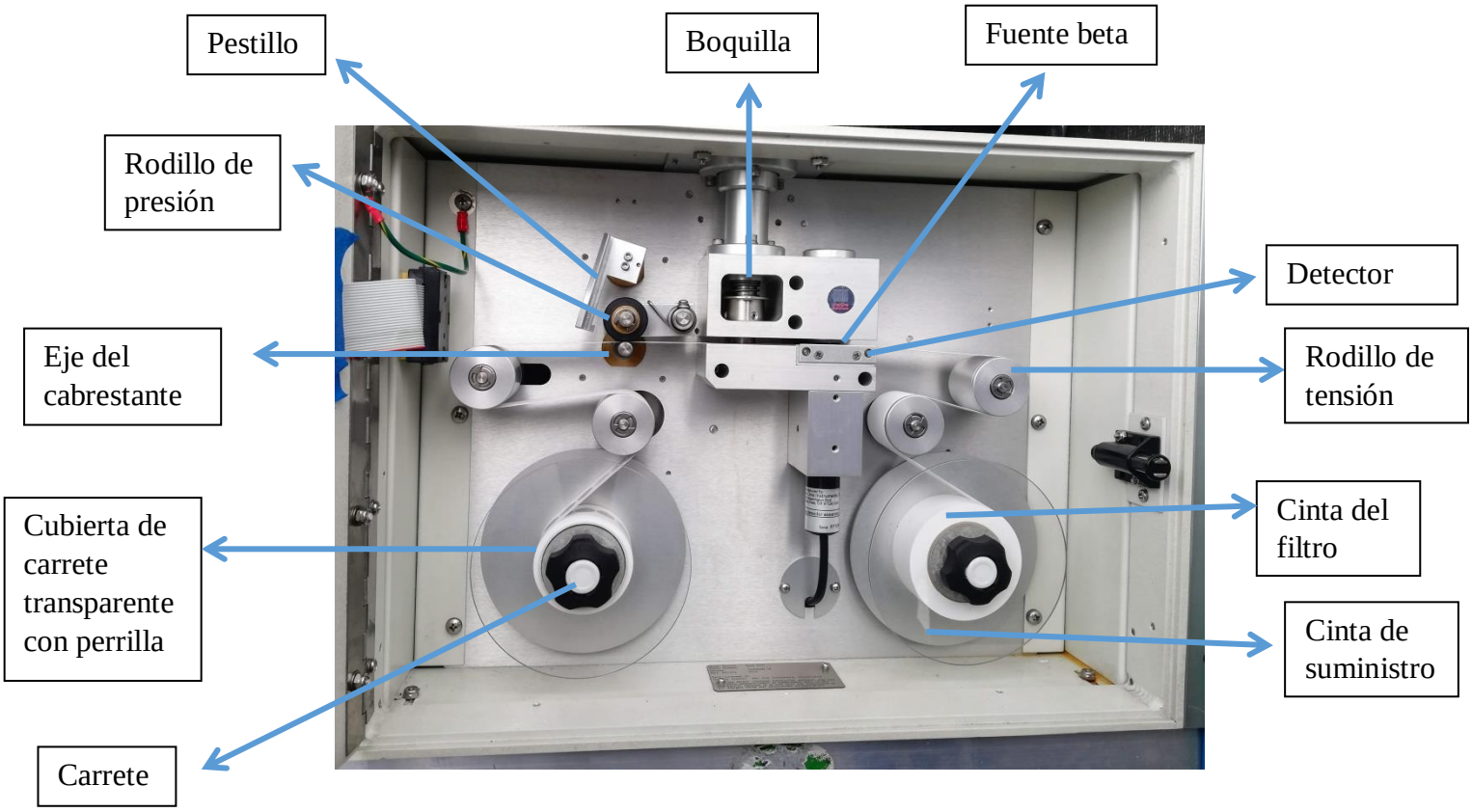


Figura 34. Equipo BAM 10.Fuente.Autoras

4.3.5. Indicadores y costos.

Indicadores:

Con los datos utilizados de obtuvieron los promedios diarios (ver figura 36), con estos datos se calculara el ICA, cumplimiento normativo, porcentaje de muestras tomadas y el porcentaje de muestreos tomados.

FECHA	PROMEDIOS
24/09/2018	13
25/09/2018	22,75
26/09/2018	25,5
27/09/2018	17,29
28/09/2018	25,13
29/09/2018	31,67
30/09/2018	41,86

Tabla 15. Promedios diarios. Fuente autoras

Mínimo	**3**
Fecha Min	24/09/2018 22:00
Máximo	181
Fecha Max	30/09/2018 13:00
Prom.	24,8
Num. De datos	161
Dato[%]	95

Tabla 16. Información general de los datos de concentración. RMCAB. Fuente autoras

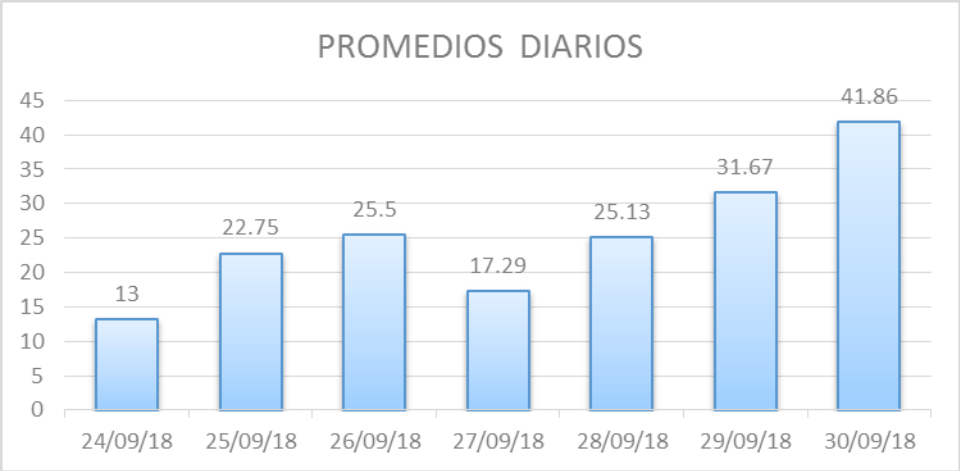


Figura 35. Promedios Diarios. Fuente Autoras

Índice de calidad del aire.

$$ICA_{Pjt} = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}}(C_{Pjt} - BP_{Lo}) + I_{Lo}$$

Donde:

ICApjt: Es el Índice de calidad del aire para el contaminante P de una estación de monitoreo de la calidad del aire j durante el período de tiempo t, el cual corresponde al período de exposición previsto en la norma para cada uno de los contaminantes que se está midiendo.

Cpjt: Es la concentración del contaminante P medida en la estación de monitoreo de la calidad del aire j durante el período de tiempo t, el cual corresponde al período de exposición previsto en la norma para cada uno de los contaminantes que se está midiendo.

BPHi: Es el punto de corte mayor o igual a la concentración del contaminante P medida.

BPLo: Es el punto de corte menor o igual a la concentración del contaminante P medida.

Ihi: Es el valor del ICA correspondiente al punto de corte BPHi .

ILo: Es el valor del ICA correspondiente al punto de corte BPLo .

(Miniesterio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible, s.f.)

$$ICA\ (PM\ 2.5) = \frac{100 - 51}{37 - 13} * (13 - 13) + 51 = 51$$

Esta formula es de interpolacion para saber el numero exacto que corresponde el promedio de la concentracion en un dia, se debe desarrollar usando la figura 36:

Índice de Calidad del Aire			Puntos de corte del ICA
ICA	Color	Categoría	$PM_{2.5}$ µg/m³ 24 horas
0-50	Verde	Buena	0 – 12
51-100	Amarillo	Aceptable	13 – 37
101 - 150	Naranja	Dañina a la salud de Grupos Sensibles	38 – 55
151 - 200	Rojo	Dañina a la salud	56 – 150
201 - 300	Púrpura	Muy dañina a la salud	151 – 250
301 - 500	Marrón	Peligrosa	251 – 500

ILo
IHi
BPLo
BPHi

Figura 36. ICA. Tomado y adaptado de la Resolución 2254 de 2017

FECHA	PROMEDIOS	ICA	Categoría
24/09/2018	13	51	Aceptable
25/09/2018	22,75	70.90	Aceptable
26/09/2018	25,5	76.52	Aceptable
27/09/2018	17,29	59.75	Aceptable
28/09/2018	25,13	75.76	Aceptable
29/09/2018	31,67	89.11	Aceptable
30/09/2018	41,86	112.12	Dañina a la salud de grupos sensibles

Tabla 17. Promedios de concentración 24 horas en puntaje ICA. Fuente Autoras

Cumplimiento de normatividad:

LMP: 24 horas; 37 µ/m^3

Anual: 25 µ/m^3

$$CN = \frac{13}{37} \times 100 = 35\%$$

FECHA	PROMEDIOS	Cumplimiento
24/09/2018	13	35%
25/09/2018	22,75	61,48%
26/09/2018	25,5	68,9%
27/09/2018	17,29	46.72%
28/09/2018	25,13	67.91%
29/09/2018	31,67	85.59%
30/09/2018	41,86	113.13%

Tabla 18. Cumplimiento con la norma. Fuente: Autoras

% Muestras tomadas:

$$PMT = \frac{159}{161} \times 100 = 98.75\%$$

% Muestreos tomados:

$$PT = \frac{161}{174} \times 100 = 92.52\%$$

Con estos datos se puede analizar que de los 7 días, 6 cumplieron con la normativa vigente y estuvieron en un rango aceptable en la categoría del ICA, los porcentajes de muestras tomadas se hace para saber cuántas muestras fueron efectivas, de los datos tomados 2 se descartaron es decir que el 98.75% fueron efectivos, los muestreos tomados son el porcentaje del total de los datos que se tenían previsto realizar estas fórmulas son importantes para saber que validez tienen nuestros datos realizados, aunque existen varios factores más que influyen en la confiabilidad de los datos, para el valor de éxito los porcentajes de las muestras y muestreos tienen que ser mayores al 75%.

Costos:

Se usó la figura N.19 para hallar los costos de los 5 años del programa de seguimiento de monitoreo de calidad del aire en el municipio de Sogamoso para las 5 estaciones, el valor total del costo de los 5 años no incluye el incremento del IPC.

SISTEMA DE VIGILANCIA DE CALIDAD DEL AIRE						
COSTOS						
PROFESIÓN	**CANTIDAD**	**TIEMPO**	**DEDICACIÓN**	**UNIDAD**	**VALOR UNIT**	**VALOR TOTAL**
COSTOS DE PERSONAL						
Dirección	1	12	100%	Mes	$ 14.400.000	$ 172.800.000
Coordinador Técnico	1	12	100%	Mes	$ 9.000.000	$ 108.000.000
Personal de manejo de información	2	12	100%	Mes	$ 7.200.000	$ 172.800.000
Personal de manejo electrónico	2	12	100%	Mes	$ 7.200.000	$ 172.800.000
Personal de apoyo informes	1	12	100%	Mes	$ 6.300.000	$ 75.600.000
Personal de comunicación y trasmisión de datos	1	12	100%	Mes	$ 7.200.000	$ 86.400.000
Personal de inspección de estaciones	2	12	100%	Mes	$ 3.600.000	$ 86.400.000
Auxiliares de apoyo	1	12	100%	Mes	$ 2.700.000	$ 32.400.000
Factor Multiplicador	**1,8**					
					Subtotal costos de personal	$ 907.200.000
COSTOS DIRECTOS						
DESCRIPCIÓN			**CANTIDAD**	**UNIDAD**	**VALOR UNIT**	**VALOR TOTAL**
Equipos de Medición			5	Und	$ 120.000.000	$ 600.000.000
Generador Aire Cero				Und	$ 60.000.000	$ -
Calibrador de Precisión			5	Und	$ 50.000.000	$ 250.000.000
Cilindros de Calibración			5	Und	$ 2.500.000	$ 12.500.000
Shelter				Und	$ 25.000.000	$ -
Estación Meteorológica			5	Und	$ 80.000.000	$ 400.000.000
SUBTOTAL DIRECTOS						$ 1.262.500.000
COSTOS INDIRECTOS						
DESCRIPCIÓN			**CANTIDAD**	**UNIDAD**	**VALOR UNIT**	**VALOR TOTAL**
Transporte de equipos				Mes	$ 350.000	$ -
Transporte de personal			12	Mes	$ 6.500.000	$ 78.000.000
Arriendo oficina			12	Mes	$ 6.000.000	$ 72.000.000
Gastos directos de personal			312	Día	$ 80.000	$ 24.960.000
Insumos de operación			5	global/equipo	$ 2.500.000	$ 12.500.000
Mantenimiento preventivo estaciones			5	global/equipo	$ 5.000.000	$ 25.000.000
Repuestos equipos			5	Equipo	$ 3.500.000	$ 17.500.000
Insumos para operación equipos			12	Mes	$ 4.000.000	$ 48.000.000
Seguridad estaciones			12	Mes	$ 6.300.000	$ 75.600.000
Suministro de energía eléctrica			12	Mes	$ 1.800.000	$ 21.600.000
SUBTOTAL INDIRECTOS						$ 375.160.000
TOTAL						
SUBTOTAL						$ 2.544.860.000

IVA		19%	$ 483.523.400
TOTAL DE LA PROPUESTA PARA CADA AÑO			$ 3.028.383.400
	TOTAL DE AÑOS	5	$ 15.141.917.000

Nota: El costo debe incrementarse anualmente de acurdo al IPC del año anterior

Tabla 19. Costos para el municipio de Sogamoso. Fuente: J. Murad y Autoras.

4.3.6. Ficha de seguimiento y monitoreo.

MEDIO ABIÓTICO	
PROGRAMA 3. EMISIONES ATMOSFÉRICAS, CALIDAD DE AIRE PARA PM $_{2.5}$	**Código PSM-A3**

1. OBJETIVO

Medir la calidad del aire del contaminante PM $_{2.5}$ en el casco urbano de municipio de Sogamoso en Boyacá, mediante 5 estaciones de monitoreo con equipos BAM 1020 por un periodo de 5 años con monitoreo continuo de 24 horas, evaluando el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en la resolución 2254 del 2017.

2. METAS	**3. INDICADORES**
• Ejecutar el cronograma y el 100% de los muestreos programados para el plan de seguimiento y monitoreo. • Cumplir con el 75% de datos mínimos aprobados realizando muestreos de 24 horas. • Dar cumplimiento a la normatividad ambiental legal vigente.	**ICA:** Categoría buena para PM $_{2.5}$ $ICA_{Pjt} = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}}(C_{Pjt} - BP_{Lo}) + I_{Lo}$ **Cumplimiento de normatividad:** LMP: 24 horas; 50 µ/m^3 Anual: 25 µ/m^3 $CN = \frac{\text{Concentración PM 2.5}}{LMP\ (PM\ 2.5)} \times 100$ **% Muestras tomadas:** $PMT = \frac{Mueestras\ totales\ tomadas}{Muestras\ totales\ efectivas} \times 100$ **% Muestreos tomados** $PT = \frac{Muetreos\ realizados}{Muestreos\ programados} \times 100$

4. ETAPA

Actividades previas	Seguimiento	Actividades de cierre
☒	☒	☒

5. ACCIONES A DESARROLLAR

El esquema del procedimiento que se debe realizar con el equipo BAM 1020 para una medición de tipo automática se puede observar en la figura 37

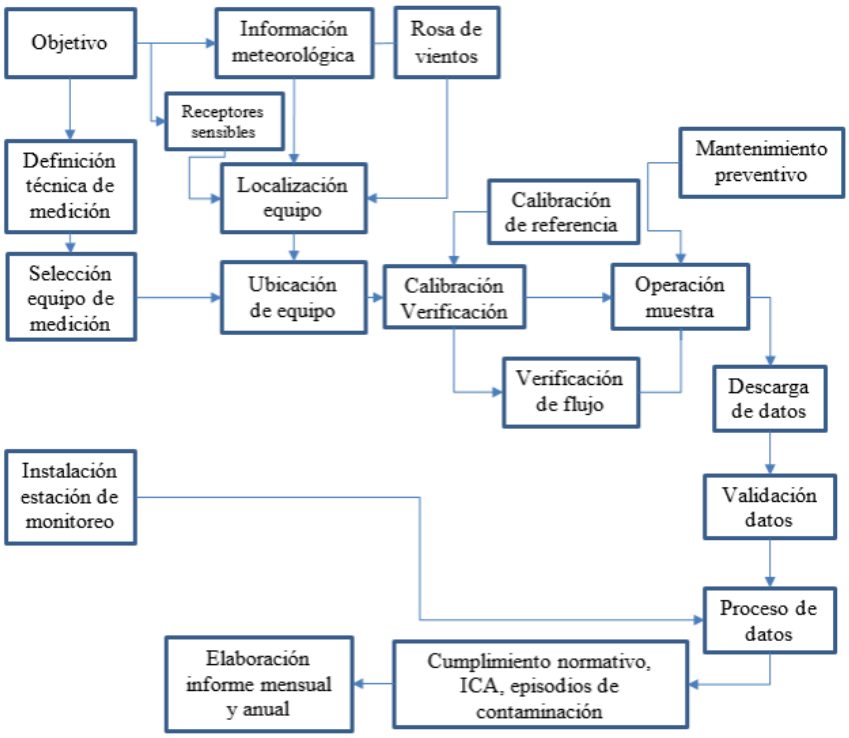


Figura 37Esquema de medición de tipo automático. Fuente J. Murad

5.1 Ubicación y localización: Para el muestreo definitivo se seleccionaron 5 estaciones, una de fondo vientos arriba (2) y una vientos abajo (8), una fondo urbana (6), una indicativas (5) y una de estación de propósito especial (10). (Ver figura 38), para esto se debe tener en cuenta los aspectos de dirección y velocidad del viento, la escala y área del lugar y las industrias

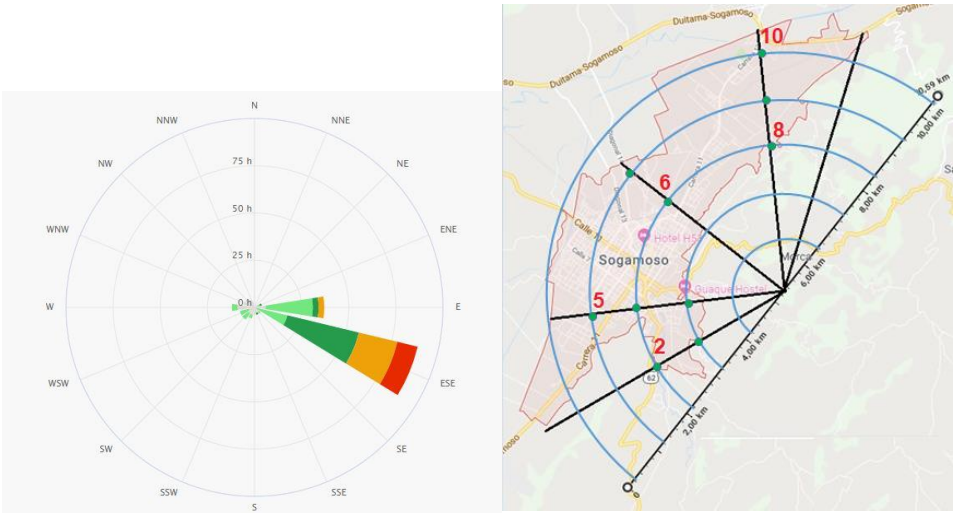


Figura 38 Puntos definitivos y rosa de vientos. Fuente Autoras

5.2 Operación del equipo: Puesto que se realizara un programa de seguimiento y monitoreo continuo para el contaminante PM $_{2.5}$ se utilizara para la medición un equipo automático BAM 1020 marca Met One con distribuidor en Colombia avalado por la EPA. **5.3 Muestreo y Monitoreo:** Para dar inicio al programa de monitoreo se realizara una campaña durante un 1 año de medición indicativa para posteriormente comenzar el estudio de seguimiento en los 4 años siguientes, para comprobar la normatividad horaria de 24 horas con el propósito de conocer el comportamiento del contaminante.

5.4 Descripción de las fuentes: Se realizara una recopilación de fuentes fijas las cuales son las industrias cementeras, metalúrgicas, siderúrgicas, metalmecánicas y fuentes móviles que son las 8 empresas de transporte y automóviles, para dar una visión de la necesidad del estudio y la confirmación del PM $_{2.5}$ en el casco urbano de Sogamoso.

5.5 Procesamiento de la información:

5.5.1. Campaña indicativa: Dependiendo los valores obtenidos por las estaciones se determinara la orientación de SVCA y si es necesario la reubicación de los puntos de monitoreo.

5.5.2. Campaña de seguimiento: Dependiendo los valores reportados por la campaña indicativa si algunas estaciones reportaron concentraciones mayores a 37 μ/m^3 horarios o 25 μ/m^3 anuales se implementara una estación fija en el sector.

5.5.3. Validación de Datos: Se refiere a la cantidad de datos validos reportados cada 24 horas que debe ser superior al 75% de los datos, (ver apéndice A parte 58)

5.5.4. Comparación con la norma: Los datos reportados cada 24 horas validos se podrán comparar con la resolución 2254; anual 25 μ/m^3 y 24 horas 37 μ/m^3

5.5.5 Índice de calidad del aire (ICA): Teniendo en cuenta el rango de concentración horaria se debe calificar en la categoría Buena.

5.5.6 Media Móvil: Se refiere al promedio calculado de concentraciones en un periodo de tiempo para analizar el comportamiento del contaminante y de acuerdo a los picos presentados determinar la influencia es decir el tiempo y la dispersión del contaminante de cada uno de estos.

5.5.7 Análisis estadístico: Determinan el comportamiento del contaminante analizando La desviación estándar, intervalos de confianza y coeficiente de varianza

5.5.7.1 Desviación estándar: Se calcula para la conocer la dispersión de un valor de concentración en referencia a la media del conjunto total de datos

5.5.7.2. Intervalos de confianza: son los valores verdaderos de un conjunto de datos para una probabilidad determinada

5.5.7.3 Coeficiente de varianza: Se halla para conocer la proporción de la desviación estándar en relación a la media

5.6 Condiciones meteorológicas: Se debe contar con una estación meteorológica para determinar la temperatura, humedad, precipitación, dirección y velocidad del viento para su debido análisis y comparación con los datos de concentración.

5.7. Informe de calidad del aire: deberá contener como mínimo:

- Objetivo
- Descripción del estudio

MEDIO ABIÓTICO	
PROGRAMA 3. EMISIONES ATMOSFÉRICAS, CALIDAD DE AIRE PARA PM $_{2.5}$	**Código PSM-A3**

- Alcance
- Localización de los puntos de muestreo
- Propósito de la medición
- Normatividad ambiental vigente
- Metodología de medición y equipos de muestreo
- Descripción de las fuentes de emisión
- Condiciones meteorológicas
- Resultados numéricos
- Análisis con los límites máximos permisibles
- Índice de calidad del aire
- Análisis de resultados
- Análisis estadístico
- Conclusiones y recomendaciones
- Anexos
- Registro fotográfico

6. TECNOLOGÍAS A UTILIZAR

A. CALIDAD DEL AIRE

Se deberán utilizar equipos de tecnología activa previamente calibrados a las condiciones del sitio de trabajo. De igual manera se deberán aplicar los métodos EPA CFR40 PARTE 50 apéndice L o los que el laboratorio tenga acreditados por parte del IDEAM.

Muestreador: Se usaran equipos BAM 1020 en las 10 estaciones, la descripción del equipo se puede observar en la tabla N. 20

Met one instrument, Inc.	 BAM-1020 monitor-PM2.5 FEM configuration, Horiba APDA- 371- PM 2.5 configuration	EQPM-0308-170 EQPM-0715-266 EQPM-1013-209 RFPS-0315-221 EQPS-0316-235	EE.UU	Tasa de flujo : 16,67 litros / min. Operado para mediciones promedio 24 de 1 hora con revisión de firmware 3.2.4 o posterior. Temperatura ambiente y sensor combinado de presión barométrica. Controlador de flujo Automático. Punto de Rocío Sistema de calefacción. Tipo:Automatico	**Colombia** SanAmbiente SAS ventas@sanambiente.com.co Productos Met and Air

Tabla 20 Descripción del equipo BAM 1020. Fuente Autoras.

Estaciones meteorológicas:

Tabla N. Estación meteorológica

Características

MEDICIÓN	Sensor	Característica	RANGO	RESOLUCIÓN	EXACTITUD
Precipitación	Pluviómetro EP0221	Boca de captación metálica calibrada.	0-300 mm	0,25 mm	+/- 4% a 50mm/h
Velocidad del viento	EP0233:	(1m/s a 50 m/s)	0-200 km/h	0,1 m/s; 1 km/h	+/- 5% FE
Dirección del viento	EP0233:	Dirección de viento (de 0-360°);	0-360º	22,5º	+/- 15%
Humedad del aire exterior	EP0251		0-100%	1%	+/- 5%
Temperatura del aire exterior	EP0251	Protector solar: de tipo autoaspirante.	-20 a + 60 ºC	0,1 ºC	+/- 0,5 ºC
Radiación solar	EP0304	Tipo celda de silicio.	1400 W/m^2	1 W/m^2	+/- 5% FE
Humedad del suelo	EP0254	De tipo por constante dieléctrica de alta durabilidad que no requiere mantenimiento.	0-100%	1%	+/- 5%
Temperatura del suelo	EP0247		-20 a + 60 ºC	0,1 ºC	+/- 0,5 ºC
Humedad de hoja	EP0253	sensor de hoja mojada con accesorio de instalación	N/A	N/A	N/A

Scientia et Technica Año XXI, Vol. 21, No. 1, junio de 2016. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701

Figura 39 Estación meteorológica BAM 1020. Fuente Autoras

MEDIO ABIÓTICO	
PROGRAMA 3. EMISIONES ATMOSFÉRICAS, CALIDAD DE AIRE PARA PM $_{2.5}$	**Código PSM-A3**

7. LUGAR DE APLICACIÓN

A. CALIDAD DEL AIRE

El monitoreo de calidad del aire se realizara en el casco urbano de Sogamoso en el que se ubicaron 5 estaciones teniendo en cuenta el protocolo de calidad del aire en cuanto a SVCA especial, en la cual se pide como mínimo estaciones de fondo, fondo urbano, EP y una indicativa, previamente basados en la rosa de vientos mensual del municipio se seleccionaron 10 estaciones preliminares de las cuales para el muestreo definitivo se seleccionaron 5 estaciones (ver tabla N.21) de acuerdo con un análisis para cada estación.

N° de estación	Elevación	Coordenadas	
	msnm	Y	X
2	2535	5°41'50.3"N	72°55'37.7"W
5	2490	5°42'20.5"N	72°56'17.2"W
6	2482	5°43'39.2"N	72°55'32.7"W
8	2568	5°44'17.3"N	72°54'23.5"W
10	2485	5°45'10.8"N	72°54'39.0"W

Tabla 21 Localización de las estaciones en Sogamoso. Fuente autoras

8. POBLACIÓN BENEFICIADA

La población del casco urbano, suburbano y rural del municipio de Sogamoso, Boyacá, en especial la población vulnerable como niños y adultos mayores que habite en el área de influencia de fuentes fijas.

9. MECANISMOS Y ESTRATEGIAS PARTICIPATIVAS

Es importante contar con el apoyo de los ciudadanos y mantenerlos informados de los datos obtenidos, para ello tienen que ser conscientes de los problemas de calidad del aire del municipio para este propósito se plantean los siguientes mecanismos de participación:

- Realizar juntas de acción comunal en el municipio con periodicidad mínima mensual, incluyendo almenas una previamente al muestreo.
- Difundir un poster con la descripción del contaminante PM $_{2.5}$ y sus efectos en la salud humana.
- Hacer campañas de concientización en todo el municipio.
- Invitar a industrias del municipio a participar en actividades pedagógicas sobre la afectación de la contaminación del aire para la salud humana.

10. RESPONSABLE DE LA EJECUCIÓN	11. PERSONAL REQUERIDO
Corpoboyaca y el municipio de Sogamoso	Dirección Coordinador Técnico Personal de manejo de información Personal de manejo electrónico Personal de apoyo informes Personal de comunicación y trasmisión de datos Personal de inspección de estaciones Auxiliares de apoyo

12. CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

ACTIVIDAD	ACTIVIDADES PREVIAS	ACTIVIDADES CONSTRUCTIVAS	ACTIVIDADES DE CIERRE
Tiempo	**Año 1**	**Año 3**	**Año 5**
Se evaluaran la ubicación de las estación con respecto a los datos de concentración, para tomar la decisión de la ubicación y localización de las que se retiraran y las estaciones que estarán fijas	X		
Mantenimiento y calibración del equipo	X	X	X
Medición continua horaria		X	X
Análisis de datos validos del 75% cada tres meses, para conocer el comportamiento del contaminante		X	X
Reporte de los resultados y análisis estadísticos y conclusiones del programa de seguimiento y monitoreo			X

13. SEGUIMIENTO Y MONITOREO

Indicador	Fórmula de cálculo	Valor de éxito	Periodicidad	Medios de verificación
Programación del muestreo	$\frac{muestreos\ realizados}{muestreos\ programados} x100$	100%	Trimestral	Programación de muestreos
Concentración criterio en campaña preliminar	Si alguno de los valores de las concentraciones $PM_{2.5}$ 24 horas o anual sobrepasa la normatividad se debe instalar una estación fija	24 H: > 37 μ/m^3 Anual: > 25 μ/m^3	Primer Año	Comparaciones reportadas por analizadores de $PM_{2.5}$ en las estaciones
Concentración criterio en campaña preliminar	Si los valores de concentración obtenidos en la campaña del primer año son inferiores al 10% LMP se deberá considerar la continuad y/o ubicación de eta estación	< 10 % LMP	Primer Año	Comparaciones reportadas por analizadores de $PM_{2.5}$ en estaciones indicativas
	$CN = \frac{\text{Concentración PM 2.5}}{LMP\ (PM\ 2.5)} \times 100$ De acuerdo con la Resolución 2254 del 2017	<100%	Cada 24 Horas	Normatividad ambiental vigente

13. SEGUIMIENTO Y MONITOREO				
Indicador	**Fórmula de cálculo**	**Valor de éxito**	**Periodicidad**	**Medios de verificación**
ICA	$ICA_{Pjt} = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}}(C_{Pjt} - BP_{Lo}) + I_{Lo}$	100%	Cada 24 horas	ICA
% Muestras tomadas	$PMT = \frac{Mueestras\ totales\ tomadas}{Muestras\ totales\ efectivas} \times 100$	>75%	Cada 24 horas	Programación de muestras minútales
% Muestreos tomados	$PT = \frac{Muetreos\ realizados}{Muestreos\ programados} \times 100$	>75%	Cada 24 horas	Programación de muestras horarias
14. PRESUPUESTO				
Los costos de las actividades propuestas están incluidos en los costos generales del proyecto.				

Tabla 22. Programa de seguimiento y monitoreo para PM $_{2.5}$. Fuente Autoras

5. CONCLUSIONES.

El contaminante $PM_{2.5}$ es una mezcla de productos químicos y elementos biológicos que permanecen en suspensión, estas partículas son producidas por el polvo de las vías, de la agricultura, el hollín de diésel, actividades naturales y actividades industriales. Se tiene en cuenta que el 79% de las actividades industriales de la resolución 909 del 2008 generan este contaminante.

Se estableció la metodología de medición de $PM_{2.5}$ en calidad del aire, en base a la regulación del código federal de Estados Unidos (USEPA) el cual se tradujo y se seleccionaron las partes más relevantes y por medio de un programa de diseño y el uso de diagramas se facilitó su entendimiento. Para la identificación de las fuentes de emisión nos basamos en la resolución 909 del 2008, la cual establece el tipo de contaminante que emite cada proceso productivo. Es necesario para una debida medición contar con equipos verificados, calibrados y que sean aprobados por la EPA, se realizó una tabla con estos equipos describiendo las características generales, modelos, rangos, interferencias, distribución en Colombia.

Se elaboró una ficha de seguimiento y monitoreo de calidad del aire para la evaluación del contaminante PM 2.5 para el municipio de Sogamoso, mediante 5 estaciones de monitoreo con equipos BAM 1020 por un periodo de 5 años con monitoreo continuo de 24 horas, evaluando el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en la resolución 2254 del 2017, con base en los parámetros, criterios y lineamientos técnicos, con una ejecución simultánea de las variables meteorológicas, esto con el fin de mostrar la manera adecuada de hacer un programa de seguimiento y monitoreo.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda el aumento del monitoreo y seguimiento del contaminante $PM_{2.5}$ ya que este es un principal causante de enfermedades respiratorias.

Se deben tener en cuenta las diferentes variables como localización, ubicación, fuentes de emisión, equipos a usarse su calibración y verificación; para llevar a cabo un seguimiento y monitoreo a corto, mediano y largo plazo.

La localización de los equipos es de gran importancia para realizar un estudio sobre los contaminantes que se generan en el lugar; con el fin de instalar un SVCA adecuado, en cuanto a la ubicación de los equipos se debe tener presente que el espacio sea seguro y de fácil acceso para la toma de datos y mantenimiento pertinente de los equipos, estos se deben ubicar teniendo en cuenta la meteorología como las rosas de vientos; para la elaboración de las rosas de vientos recomendamos usar un Software como Wrplot, ya que es un programa sencillo de usar y no requiere costos adicionales.

REFERENCIAS

Air Quality Monitoring System. (5 de Noviembre de 2017). *Automatic & Real-Time Suspended Particulate Monitor.* Obtenido de MP101M with CPM option: file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/ENVIRONMENT%20S.A%20Model%20MP%20101%20M%20PM%20$_{2.5}$%20Monitor%20EQPM-1013-211%20ingles.pdf

Air Quality Particulate. (2017). *Met One Instruments Inc*. Obtenido de Copyright: http://metone.com/air-quality-particulate-measurement/regulatory/e-seq-frm/

Aire Qality Particulate. (2017). *Met One Instruments Inc*. Obtenido de http://metone.com/air-quality-particulate-measurement/regulatory/bam-1022/

Ambientalia S.A.S. (2018). *Ambietalia*. Obtenido de Monitor de Material Particulado – Grimm EDM 180: http://www.ambientalia.com.co/monitores-de-material-particulado/monitor-de-material-particulado-grimm-edm-180/

Ambiente, E. S. (27 de Diciembre de 2011). *Resolucion 6982.* Obtenido de http://190.27.245.106/BLA/resoluciones/RESOLUCIONES%202011/6982.pdf

Ambiente, V. D. (2010). *Política De Prevencíon Y Control De La Calidad De La Contaminacíon Del Aire.* Obtenido de http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Polit%C3%ACcas_de_la_Direcci%C3%B3n/Pol%C3%ADtica_de_Prevenci%C3%B3n_y_Control_de_la_Contaminaci%C3%B3n_del_Aire.pdf

AMP CHEROKEE. (2018). *AMP CHEROKEE*. Obtenido de http://www.ampcherokee.com/ProductDetails.asp?ProductCode=c049%2E0001

AMP-CHEROKEE. ALL RIGHTS RESERVED.| ECOMMERCE WEB DEVELOPMENT COMPANY BUILT WITH VOLUSION. (2018). *AMP CHEROKEE*. Obtenido de AMP-Cherokee: The Company: http://www.ampcherokee.com/Articles.asp?ID=342

ANLA. (15 de Diciembre de 2017). *Autoridad Nacional de Licencias Ambientales* . Obtenido de Metodos de Referencia: http://www.anla.gov.co/terminos-referencia

Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente (AIDA). (Abril de 2016). *CONTROLANDO LOS CONTAMINANTES CLIMÁTICOS DE VIDA CORTA UNA OPORTUNIDAD PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AIRE Y MITIGAR EL CAMBIO CLIMÁTICO*. Obtenido de EL CASO DE BRASIL, CHILE Y MÉXICO RESUMEN EJECUTIVO: http://www.aida-americas.org/sites/default/files/featured_pubs/reporte_ccvc_resumen.pdf

BGI by Mesa Labs. (27 de Noviembre de 2017). *PQ 200 muestreador de aire.* Obtenido de Manual de Usuario: file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/BGI%20Inc.%20model%20PQ%20200-

VSCC%20or%20PQ%20200A-VSCC%20PM%20$_{2.5}$%20sampler%20RFPS-0498-116.pdf

Boris, R. N. (2005). Relationship between $PM_{2.5}$ and PM10 in Bogotá. *Revista de Ingeniería*.

C, A. V. (2010). CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR MATERIAL PARTICULADO . *Observatorio Urbano de León* , 5.

Colombia, (24 de 01 de 1079). Ley 9 .

Colombia, (22 de 12 de 1993). Ley 99 .

Colombia, R. D. (5 de Junio de 2008). *Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial.* Obtenido de Resolucíon Número 909: http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/f0-Resoluci%C3%B3n%20909%20de%202008%20%20-%20Normas%20y%20estandares%20de%20emisi%C3%B3n%20Fuentes%20fijas.pdf

Colombia, R. D. (1 de Noviembre de 2017). *Ministeria De Medio Ambiente Y Desarrollo Sostenible.* Obtenido de Resolucíon Numero 2245: http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/96-res%202254%20de%202017.pdf

Colombiana, R. (1991). Constitución política Colombiana.

D.C, A. M. (2 de Octubre de 2018). *Secretaria Distrital De Medio Ambiente*. Obtenido de Politicas Ambientales Del D.C: http://ambientebogota.gov.co/en/web/sda/politicas-ambientales-del-d.c

D.C, E. A. (5 de Octubre de 2006). *Decreto 417.* Obtenido de http://ambientebogota.gov.co/documents/24732/3901423/DECRETO+417+DE+2006.pdf

ENVEA. (12 de Febrero de 2018). *Together We Are Envea*. Obtenido de XPRT Envitnnement S.A: https://www.environmental-expert.com/products/environnement-sa-model-mp101m-continuous-automatic-pm10-pm25-pm1-tsp-particulate-monitor-546897

EPA. (17 de Diciembre de 2016). *United States Environmental Protection Agency.* Obtenido de List of Designate Reference And Equivalent Methods: file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Equipos.pdf

EPA. (05 de 12 de 2017). *Sampling Methods for $PM_{2.5}$ Speciation parameters.* Obtenido de United States Environmental Protection Agency: https://aqs.epa.gov/aqsweb/documents/codetables/methods_speciation.html

EPA. (5 de Junio de 2018). *Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos*. Obtenido de https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-medioambiente

Espaciales, I. C. (1 de Octubre de 2018). *ICDE*. Obtenido de Indice Bogota De Calidad Del Aire - IBOCA: http://www.icde.org.co/noticias/Indice-Bogotano-de-Calidad-de-Aire-IBOCA

Gil, C. L., & Jiménez, J. D. (2008). ¿Qué son las $PM_{2.5}$ y cómo afectan a nuestra salud? *Ecologistas en Acción*.

Hall, J. H. (2016). *Reference and Equivalent Methods Used to Measure National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) Criteria Air Pollutants - Volume I*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/304382205_Reference_and_Equivalent_Methods_Used_to_Measure_National_Ambient_Air_Quality_Standards_NAAQS_Criteria_Air_Pollutants_-_Volume_I

IDEAM. (5 de Junio de 2008). *Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo terrirorial*. Obtenido de Norma de Fuentes Fijas : http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527650/Resolucion+909+de+2008.pdf/a3bcdf0d-f1ee-4871-91b9-18eac559dbd9

IDEAM. (05 de Junio de 2008). *Norma de Fuentas Fijas* . Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527650/Resolucion+909+de+2008.pdf/a3bcdf0d-f1ee-4871-91b9-18eac559dbd9

IDEAM. (2017). *Informe de Estado de Calidad del Aire en Colombia 2016.* Bogotá D.C.

Inteccoon.Inc. (s.f.). *Environmental Instrumentation*. Obtenido de Muestreadores Ambientales: http://www.intecconinc.com/latam/index.php/productos/19?search=&order=i.ordering&dir=asc&cm=0#tlb

Intendencia De Montevideo. (2017). *Informe De Calidad De Aire.* Obtenido de Servicio Evaluación de la Calidad y Control Ambiental Departamento de Desarrollo Ambiental Intendencia de Montevideo: http://www.montevideo.gub.uy/sites/default/files/biblioteca/2017.pdf

Laura, R. (2017). *DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS CONCENTRACIONES DE $PM_{2.5}$ Y SU RELACIÓN CON LA MORTALIDAD CARDIOPULMONAR EN BOGOTÁ.* Bogotá: Universidad Santo Tomás.

Mesa Labs, Inc. All rights reserved. (2016). *BGI By Mesa Labs* . Obtenido de Find A Distributor : https://bgi.mesalabs.com/find-a-distributor-2/

Met One Instruments, Inc. (2017). *Met One Instruments, Inc.* Obtenido de Sales & Distribution.

Meyer, M. B. (2 de Abril de 2004). *Seminar: Sampling, Real-time Monitoring and Conditioning of Air Samples for Determination of Particle Mass*. Obtenido de A Review of Ambient PM Monitoring Trends and Regulations in the United States: http://www.zenzors.com/KIKUseminar/CopenhagenMeyer(02APR04-2of2).pdf

Miniesterio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible. (s.f.). *Índice de calidad del aire (ICA)* . Obtenido de IDEAM: http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125494/35-HM+%C3%8Dndice+calidad+aire+3+FI.pdf/6c0c641a-0c9a-430d-9c37-93d3069c595b

MINISTERIO DE AMBIENTE, V. Y. (Octubre de 2010). *PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE.* Obtenido de

http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/contaminacion_atmosferica/Protocolo_Calidad_del_Aire_-_Manual_Dise%C3%B1o.pdf

Ministerio De Medio Ambiente Y Agua. (15 de Marzo de 2016). *Estado Plurinacional.* Obtenido de Informe Naional De Calidad Del Aire De Bolivia: http://www.mmaya.gob.bo/uploads/libros/calidad%20del%20aire%20Nacional%20baja%20res.pdf

Ministerio De Obras Publicas Y Transorte (mopt). (2015). *Informe de Calidad del Aire Área Metropolitano De Costa Rica.* Obtenido de https://www.ministeriodesalud.go.cr/images/stories/docs/DPAH/2016/DPAH_VI_informe_anual_calidad_aire_GAM_2013_2014.pdf

Ministerio De Salud Costa Rica Bienestar Para Todos . (2018). *Ministerio De Salud Costa Rica* . Obtenido de https://www.ministeriodesalud.go.cr/

OMS. (septiembre de 2016). *Organizacion mundial de la salud.* Obtenido de http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/

OMS. (2 de Mayo de 2018). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health

Opsis AB. OPSIS and are registered trademarks of Opsis AB. | Legal Notice | Privacy Policy. (3 de Octubre de 2018). *OPSIS.* Obtenido de OPSIS DISTRIBUTORS WORLDWIDE: https://www.opsis.se/en/Distributors

Organizacíon Mundial De La Salud. (2 de Mayo de 2018). *Calidad Del Aire Y Salud*. Obtenido de http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health

Procuraduria General De La Republica. (18 de Enero de 2002). *Sistema Costarricense De Informacion Juridica*. Obtenido de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=48141&nValor3=98058&strTipM=TC#ddown

Region De Murcia Consejeria De Salud. (s.f.). *Murcia Salud.* Obtenido de http://www.murciasalud.es/pagina.php?id=244308&idsec=1573#

RMCAB. (2016). *Informe anual de calidad del aire de Bogotá Año 2016.* Bogota D.c: Secretaría Distrital de Ambiente.

RRAAAASS FFRRMM PPMM22..55 // PPMM1100 SSaammpplleerr. (9 de Enero de 2018). *Especificaciones del producto.* Obtenido de Thermo Electron Corporation: file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/andersen%20RFPS%200299-128%20ingles.pdf

Secretaria De Estado De Medio Ambiente Y Recursos. (s.f.). *Norma Ambiental De Calidad Del Aire.* Obtenido de http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/dom60781.pdf

Sistemas Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2015). *MMAyA*. Obtenido de Estado Plurinacional De Bolivia: http://www.mmaya.gob.bo/

SUÁREZ, C. A. (2011). DIAGNÓSTICO Y CONTROL DE MATERIAL PARTICULADO: PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES Y FRACCIÓN RESPIRABLE PM10. *Scielo*.

Teledyne Technologies Incorporated. All rights reserved. (2018). *Teledine API Everywhereyoulook*. Obtenido de Sales Contacts: http://www.teledyne-api.com/contact/sales-contacts/air-quality-sales?region=South%20America

Thermo Fisher. (2 de Marzo de 2018). *Scientific*. Obtenido de https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/TEOM1405F

Urrego, M. M. (Marzo de 2006). *Establecer La asociacíon Existente Entre Las Variables Meteorológicas Temperatura,Velocidad Del Viento Y Precipitacíon Y Las Concentraciones De PM 10 Registradas En La Red De Calidad Del Aire De Bogota D.C.* Obtenido de http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14805/00798291.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Wikipedia. (30 de Agosto de 2018). *Coeficiente De Relacion de Pearson*. Obtenido de https://es.m.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_correlaci%C3%B3n_de_Pearson