Procedimiento del manejo de la información reportada por el Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire de la Universidad Distrital. (S.V.C.A.U.D)

PRESENTADO POR:

Sarah Juliette Correa Builes

Mónica Morales Rodríguez

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Tecnología en Saneamiento Ambiental

Bogotá D, C, Colombia

2020

Procedimiento del manejo de la información reportada por el Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire de la Universidad Distrital. (S.V.C.A.U.D)

Sarah Juliette Correa Builes 20162085265
Mónica Morales Rodríguez 20162085939

Trabajo de grado para optar el título de Tecnóloga en Saneamiento Ambiental
Modalidad: Monografía

Director: Ing José Alejandro Murad Pedraza

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Tecnología en Saneamiento Ambiental
Bogotá D, C, Colombia
2020

Tabla de contenido

RESUMEN 10

ABSTRAC 11

INTRODUCCIÓN 12

2 OBJETIVOS 15

2.1 OBJETIVO GENERAL 15

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 15

3 MARCO TEÓRICO 16

3.1 MARCO CONCEPTUAL 16

3.1.1 Sistema de vigilancia de la calidad del aire 16

3.1.2 Tipos de sistemas de vigilancia de calidad del aire según su tecnología 17

3.1.3 Control y aseguramiento de la calidad 17

3.1.4 Validación de datos 18

3.1.6 Gráficas 19

3.1.7 ICA 19

3.1.8 Informes de calidad del aire 20

3.2 MARCO LEGAL 20

4 ACTIVIDADES Y METODOLOGÍA 22

4.1 FASE I. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LAS ESTACIONES 22

4.1.1 Conceptualización 22

4.1.2 Recopilación de información 22

4.2 FASE II. VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN 22

4.3 FASE III. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA 23

4.4 FASE V. REPORTE DE DATOS 23

5 RESULTADOS 25

5.1 FASE I. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LAS ESTACIONES 25
5.1.1 Mantenimiento 26
5.1.2 Verificación y calibración 28
5.1.3 Especificaciones de los equipos de medición y meteorológico 29
5.1.3.1 Estación ambiental AQM60 29
5.1.3.2 BAM 1020 30
5.1.3.3 Teledyne API 651 32
5.1.3.4 Aetalometro AE33 33
5.1.3.5 Analizador de ozono fotométrico 34
5.1.3.6 Estación meteorológica AutoMet 35
5.1.4 Especificaciones de los verificadores 35
5.1.4.1 Verificador de flujo tetraCal BGI 36
5.1.4.2 Verificador de flujo Bios Definer 220 36
5.1.4.3 Verificador de precisión modelo T701 y T702 para ozono 37
5.1.5 Sistema de diligenciamiento de datos 37
5.2 FASE II. VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN 38
5.2.1 Nivel 0 39
5.2.2 Nivel 1 39
5.2.3 Nivel 2, Validación en la estación central 40
5.3 FASE III. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA 46
5.3.1 Promedio aritmético 46
5.3.2 Varianza 47
5.3.3 Desviación estándar 48
5.3.4 Coeficiente de variación 49
5.3.5 Concentración máxima y mínima por hora 49

5.3.6 Estimación de la media móvil 50
5.3.7 Cálculo del número de excedencias 50
5.3.8 Percentil 51
5.3.9 Representación gráfica de los indicadores de la calidad del aire 52
5.4 FASE V. REPORTE DE DATOS 61
5.4.1 Especificaciones del informe semanal 65
5.4.2 Especificaciones del informe mensual 66
5.4.3 Especificaciones del informe trimestral 67
5.4.4 Especificaciones del informe anual 68
6 CONCLUSIONES 70
7 RECOMENDACIONES 71
REFERENCIAS 72
ANEXOS 74

Lista de tablas

Tabla 1. Clasificación del ICA. 20

Tabla 2. Especificación general de los equipos 27

Tabla 3. Especificaciones de la estación ambiental AQM60 30

Tabla 4. Equipo BAM 1020 31

Tabla 5. Especificaciones del equipo Teledyne API 651 32

Tabla 6. Equipo Aetalometro AE33 33

Tabla 7. Analizador de ozono fotométrico 34

Tabla 8. Estación meteorológica AutoMet 35

Tabla 9. Verificador de flujo tetraCal BGI 36

Tabla 10. Verificador de Flujo Bios Definer 220 36

Tabla 11. Calibrador de precisión modelo T701 y T702 37

Tabla 12. Envista ARM 38

Tabla 13. Banderas que indican validez e invalidez 44

Tabla 14. Representatividad temporal 46

Tabla 15. Número de excedencias 51

Tabla 16. Contenido de los informes 63

Tabla 17. Objetivos del Sistema de Vigilancia 64

Tabla 18. Contenido de los informes por estación 65

Tabla 19. Especificación del informe semanal 65

Tabla 20. Especificación del informe mensual 66

Tabla 21. Especificación del informe trimestral 67

Tabla 22. Especificación del informe anual 69

Lista de figuras

Figura 1. Esquema de trabajo 24
Figura 2. Diagrama fase I.. 26
Figura 3. Diagrama de validación en campo 39
Figura 4. Comunicación del sistema de vigilancia. 40
Figura 5. Visualización de archivos 41
Figura 6. Ejemplos de validación de datos 45
Figura 7. Gráfica en el tiempo. 52
Figura 8. Histograma.. 53
Figura 9. Grafica de cajas.. 54
Figura 10. Caja y bigotes semanal. 55
Figura 11. Grafica de dispersión. 56
Figura 12. Gráfico de eje dual 57
Figura 13. Gráfica de dispersión ICA. 58
Figura 14. Calendario ICA Mensual. 58
Figura 15. Rosa de los vientos. Fuente 59
Figura 16. Rosa de contaminación. 60
Figura 17. Gráfico polar. 60
Figura 18. Gráfica en escala de colores. 61
Figura 19. Página web del laboratorio de calidad del aire Universidad Distrital 62

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darnos la fuerza y la oportunidad de enfrentar los retos de cada día.
A nuestros padres por habernos dado la mejor educación y lecciones de vida.
Al ingeniero Camilo Ramírez y al profesor Alejandro Murad por su valiosa colaboración y permanente ayuda.

ACRÓNIMOS

BC: Black carbón

ICA: Índice de la Calidad del aire

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

INE: Instituto Nacional de Ecología

MAVDT: Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo territorial, hoy Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible MADS

OMS: Organización Mundial de la Salud

O_3: Ozono troposférico

PM_{10}: Material particulado menor o igual a 10 micras

PST: Partículas suspendidas totales

SIAC: Sistema de Información Ambiental de Colombia

SVCA: Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire

SVCAUD: Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire de la Universidad Distrital

UF: Partículas Ultra Finas

RESUMEN

El Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (SVCAUD), evalúa la calidad del aire en seis sedes de la universidad con el propósito de analizar las concentraciones de material particulado PM_{10}, Ozono troposférico O_3, Black Carbon y Partículas Ultrafinas, y compararlos con los límites máximos permisibles establecidos en la norma nacional vigente.

La presente monografía brinda información precisa y aplicable para el aseguramiento de la calidad de los datos generados en las estaciones de calidad del aire de la Universidad Distrital y así poder realizar la publicación del reporte con los resultados obtenidos de manera semanal, mensual, trimestral y anual, permitiendo establecer cuál es el estado de la calidad del aire en cada una de las sedes de la universidad e igualmente determinar su cumplimiento con la normatividad vigente. Además, permitir el fácil acceso a dicha información para posteriores investigaciones y estudios ambientales creando el inicio de una línea base para conocer la problemática de la contaminación atmosférica en la ciudad de Bogotá.

Este trabajo integra las fases que se requieren en la validación y evaluación de la información reportada por el SVCAUD, teniendo en cuenta las especificaciones técnicas y operativas para garantizar la calidad de los datos generados, mediante un proceso que determina el grado de confianza tanto del funcionamiento de las estaciones como del conjunto de datos. Para este procedimiento se realizó la búsqueda de información nacional e internacional que brindaron herramientas acerca de la validación de datos para la calidad del aire que fueron adaptadas a las condiciones propias de la Universidad Distrital. Obteniendo así, los datos reales con los cuales se realizarán los análisis estadísticos que se plasmarán en los formatos diseñados en esta monografía para su posterior reporte.

Palabras clave: Calidad del aire, sistema de vigilancia, validación, reporte.

ABSTRAC

The Air Quality Surveillance System of the Universidad Distrital Francisco José de Caldas (SVCAUD), evaluates the air quality in six of the university's campus with the purpose of analyzing PM10 particles, tropospheric ozone O3, black carbon and ultrafine particles, and Compare them with the maximum permissible limits established in the current national standard.

This monograph provides accurate and applicable information to ensure the quality of the data generated at the air quality stations of the Universidad Distrital and thus be able to publish the report with the results obtained on a weekly, monthly, quarterly and annual basis, allowing to establish what is the status of air quality in each of the university's headquarters and also determine its compliance with current regulations. In addition, allow easy access to said information for subsequent environmental research and studies, creating the beginning of a baseline to understand the problem of air pollution in the city of Bogotá.

This work integrates the phases required in the validation and evaluation of the information reported by the SVCAUD, taking into account the technical and operational specifications for the quality of the data generated, through a process that determines the degree of confidence in both the operation of the stations as of the data set. For this procedure, the search for national and international information was carried out that will provide tools about the validation of data for air quality that were adapted to the conditions of the District University. Thus obtaining the real data with which the statistical analyzes are carried out, which will be reflected in the designed formats in this monograph for its subsequent report.

Keywords: Air quality, surveillance system, validation, report.

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica es generada por la emisión, acumulación y mezcla de contaminantes en el aire proveniente de fuentes naturales como los volcanes y fuentes antropogénicas, como lo son las industrias y vehículos (SIAC, s.f.). "Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud, bien sea en los países desarrollados o en los países en desarrollo" (García, 2018, p. 2). El progreso del desarrollo industrial en Colombia hizo que varias ciudades se convirtieran en el centro de la economía nacional y se intensificara la actividad humana en las zonas urbanas como resultado del crecimiento de la población contribuyendo a la demanda de bienes y servicios que afectan la calidad del aire en las ciudades.

Los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA) son establecidos en función a una o varias problemáticas de cada región o industria, según el protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, se establecen seis tipos de Sistemas, adaptados a las condiciones de población, territorio, objetivos y condiciones ambientales del país, entre los que se encuentran tipo I indicativo, tipo II básico, tipo III intermedio, tipo IV avanzado. En Colombia se operó para el año 2017, 26 sistemas de vigilancia que contaron con 204 estaciones de monitoreo, siendo 166 fijas y 38 indicativas, donde se miden contaminantes como material particulado menor a 2.5 y 10 micrómetros ($PM_{2.5}$-PM_{10}), partículas suspendidas totales (PST), gases como dióxido de Nitrógeno (NO_2), Dióxido de Azufre (SO_2), ozono troposférico (O_3) y Monóxido de Carbono (CO).

Los datos obtenidos de los contaminantes anteriormente mencionados por un sistema de vigilancia deben representar, según lo establecido en el informe del estado de la calidad del aire en Colombia para el año 2017, de manera precisa y exacta: "una característica de una población, la variación de un parámetro en un punto de muestreo, la condición de un proceso o una condición ambiental" para que los datos tengan cierto grado de representatividad.

Para éste mismo periodo de tiempo, cumplieron con el criterio de representatividad temporal en al menos uno de los parámetros evaluados el 59% de las estaciones de monitoreo fijas que se encontraban operando en el país (IDEAM, 2018). Esto quiere decir que las mediciones no han tenido la suficiente precisión y calidad para dar un reporte final de todos los contaminantes de

importancia en salud pública en el país, implicando como factores de causa la deficiencia de controles operativos, funcionamiento intermitente del fluido eléctrico y el vandalismo.

Por otra parte, la Secretaría Distrital de Ambiente cuenta con una red de monitoreo de la calidad del aire que permite recolectar información de trece estaciones que se encuentras ubicados en puntos estratégicos de la ciudad de Bogotá midiendo los principales contaminantes; de la misma forma la Universidad Distrital posee un SVCA compuesto por seis estaciones con equipos automáticos ubicadas en cada una de sus sedes donde se miden los parámetros de material particulado (PM_{10}), black carbon, partículas ultrafinas, ozono y variables meteorológicas que han servido como apoyo técnico a autoridades distritales y para desarrollar proyectos de estudios de investigación sobre el comportamiento de los contaminantes y su variabilidad frente a la estabilidad atmosférica.

La necesidad por parte de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas de establecer una metodología para la aplicación de las características fundamentales que se utilizan para el procesamiento y publicación de los datos de calidad del aire, conlleva a implementar el procedimiento que estandariza los métodos para el manejo de la información generada en el Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire de la Universidad Distrital (SVCAUD) con el que se consigue un cubrimiento más representativo acorde a los equipos con los que cuenta la universidad en sus diferentes sedes y en donde se obtiene confianza y validez de los datos, asegurando la representatividad, fiabilidad, y credibilidad de la información.

Con el desarrollo de este procedimiento estandarizado, se busca aplicar el criterio propio de cada una de las estaciones para poder integrar las bases de datos de éstas, donde posteriormente se realizará la revisión, validación y emisión aplicando técnicas estadísticas y gráficas, proporcionando de manera práctica la forma adecuada en cómo se debe realizar el protocolo de validación y la generación de los reportes para la universidad y posteriores trabajos de investigación.

En este sentido, se realizó la indagación de información sobre los equipos de medición para definir el aseguramiento y control de calidad y así, poder ofrecer veracidad en los datos recolectados. Con esto, se definen las banderas a utilizar para que permitan identificar cada dato validado al momento de manipularlos y poder decidir si cumplen o no con el criterio de suficiencia del 75% para proseguir con los análisis estadísticos, donde se plantearon las diferentes formas de presentar la información tanto para las concentraciones de los contaminantes como para los datos

meteorológicos. Para finalizar, se diseñó la estructura de presentación para los reportes semanal, mensual, trimestral y anual con el objetivo de revelar las características que debe presentar cada reporte respecto al objetivo planteado, el contaminante medido y el tipo de estadística que se debe plasmar para mostrar los resultados.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar el procedimiento de orden técnico para el manejo de la información que reporta los equipos que hacen parte del SVCAUD

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar las especificaciones técnicas de cada uno de los equipos e instrumentos con que cuenta cada estación, con el propósito de verificar las condiciones de operación y sus características de muestreo.
- Realizar el protocolo de validación de las concentraciones obtenidas por cada uno de los equipos que componen el SVCAUD basados en las condiciones internas y externas que influyen en dicha información.
- Desarrollar el procedimiento del manejo de datos a nivel estadístico para verificar su comportamiento y variabilidad.
- Diseñar la estructura de presentación de la información semanal, mensual, trimestral y anual del SVCAUD.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 MARCO CONCEPTUAL

Según el informe de la calidad del aire de Colombia, para el año 2017 las estaciones de monitoreo localizadas en Bogotá, Medellín, Cali, Santa Marta, Ráquira, Nemocón, Sibaté, Yumbo y en la Zona Minera del Cesar registraron concentraciones promedio anual que superaron los niveles máximos permisibles establecidos en la normativa nacional, presentando con mayor preocupación el $PM_{2.5}$ y el PM_{10}.

Los sistemas de vigilancia de la calidad del aire son implementados para tener un control de los comportamientos de calidad del aire en un punto específico o en una zona, ya sea para identificar efectos positivos provenientes de problemas de contaminación del aire, o para impulsar estrategias prácticas para la reducción de los contaminantes dañinos que afectan el aire. Por lo tanto, es necesario la ejecución de los SVCA para inspeccionar las condiciones de la calidad del aire de la zona de estudio y realizar un análisis sobre los hechos.

Los informes de calidad del aire permiten observar de manera detallada el evento ocurrido en el lugar y la fecha específica, lo que conlleva a plantear acciones, medidas y estrategias a las entidades ambientales competentes para la reducción de las concentraciones del contaminante en el ambiente, y así poder cumplir los niveles establecidos en la Resolución 2254 de 2017.

3.1.1 Sistema de vigilancia de la calidad del aire

Es la agrupación de todas las metodologías, elementos técnicos y humanos destinados a la medición de parámetros físicos, químicos y meteorológicos de manera continua, en un lugar determinado, durante un periodo de tiempo. Puede abarcar todos los elementos que van desde la logística y planificación de las actividades, hasta la selección y administración del equipamiento de medición, el proceso de cálculo, la validación de los resultados, la elaboración de estadísticas, alarmas ambientales y pronósticos, la gestión de las actividades de control de calidad, el

entrenamiento y capacitación del personal y las auditorías externas como parte del programa de aseguramiento de calidad (Sbarato, Sbarato, & Ortega, 2007, p. 57).

Por otra parte, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible define al SVCA como "un conjunto de procesos, herramientas e instrumentos que tienen como fin determinar los niveles de inmisión que se dan en un área determinada" (MAVDT, 2008).

3.1.2 Tipos de sistemas de vigilancia de calidad del aire según su tecnología

Según el tipo de instrumento que se utilice en un SVCA para su operación pueden ser de tres tipos como lo describe el manual de operaciones; Los SVCA manuales están conformados por equipos muestreadores, y sus procedimientos para la determinación de la concentración de contaminantes se caracteriza por contar con un laboratorio de apoyo para el análisis de las muestras obtenidas. SVCA automáticos el muestreo no requiere de un análisis complementario de la muestra sino que a través de métodos ópticos y/o eléctricos analizan el contaminante directamente, proporcionando datos en tiempo real, dentro de las etapas generales que se debe contar con este tipo de sistema se encuentra, la toma de muestra, el procesamiento de la información y el reporte; es importante que como todos sistema de vigilancia debe contar con procesos de apoyo para el aseguramiento y control de la calidad, mantenimiento y calibración de equipos. Los SVCA híbridos cuentan con la combinación entre equipos manuales y automáticos, la ventaja en la utilización de SVCA híbridos es que sus tecnologías optimizan costos y amplia cobertura gracias a los métodos automáticos y los menores costos de los métodos manuales; requieren de mayor y mejor entrenamiento del personal encargado.

3.1.3 Control y aseguramiento de la calidad

El control de calidad es un procedimiento que se le realiza a las actividades técnicas para medir las características y la ejecución de un proceso que corresponde a un estándar establecido con la finalidad de comprobar que se encuentren dentro de la condición decretada por el beneficiario. Ésta se ejecuta para asegurar que la incertidumbre de las mediciones permanezca dentro de los límites de aceptación fijados por los objetivos de la calidad de datos. Por otra parte, el aseguramiento de la calidad es la integración de actividades planificadas, diseñados con el

propósito de certificar la calidad de los datos (MAVDT, Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, 2010).

El objetivo del control y aseguramiento de la calidad es que el sistema de medición genere datos que puedan ser respaldados para representar las concentraciones de los contaminantes. Es por ello que se realizan visitas regulares a las estaciones para asegurar la operación adecuada de los instrumentos y maximizar la captura de datos y la integridad de los mismos realizando mantenimientos y calibraciones (MAVDT, Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, 2010).

3.1.4 Validación de datos

Un sistema de vigilancia de la calidad del aire puede generar datos dudosos e incorrectos, la validación permite depurar a través de una revisión, la cual de manera objetiva corrobora que los requerimientos de los datos han sido satisfactorios, los métodos más frecuentes utilizados para dicho proceso son el test del total de datos, test de límites, test de relación entre parámetros, test de comparación entre sitios. La validación debe realizarse en diferentes niveles, de manera manual o mediante un software, dentro de los que incluye la validación en campo que principalmente se identifica aquellos datos que se encuentren fuera del rango lógico; la validación automática, la cual se basa en la comparación de los datos generados de acuerdo al tiempo de monitoreo establecido, generalmente en Colombia es utilizada la escala de 10 minutos (diez minútales), y sirve para filtrar datos atípicos; y finalmente la validación realizada en la estación central, por la persona encargada que debe tener amplios conocimientos en las variables y contaminantes medidos, así como de los equipos utilizados, ésta validación es realizada mediante etapas durante intervalos de tiempos determinados teniendo en cuenta los mismos criterios de verificación (MAVDT, Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, 2010).

3.1.5 Estadística descriptiva

La estadística descriptiva es utilizada como una herramienta para describir y analizar las características de un conjunto de datos, así como las relaciones que existen con las características de otros conjuntos de datos con los que se compare. En general, se usa para organizar y resumir

una cantidad grande de datos, auxiliándose de representaciones numéricas (estadísticas descriptivas básicas) y gráficas, lo que ayuda a una mejor y adecuada interpretación de los datos. En relación con los datos de calidad del aire, su uso comprende desde la limpieza de datos hasta la generación de indicadores (INE, 2009, p. 84). Las medidas de tendencia central proporcionan información acerca de los valores centrales de la variable a estudiar, también se conocen como medidas de posición o localización. Los valores medios dan una idea acerca del comportamiento de la variable. Las tres medidas de tendencia central más comunes son: la media o promedio, la mediana y la moda. La medida más comúnmente utilizada como el centro de un conjunto de datos es la media, se calcula como un promedio aritmético de los datos (INE, 2009, p. 84). Medidas de posición relativa (percentiles) son una medida de la posición relativa que es muy útil en el resumen de un conjunto de los datos. Un percentil es el valor del dato que es más grande que o igual a un porcentaje dado de los valores de los datos (INE, 2009, p. 88). Las medidas de dispersión más usadas de un conjunto de datos son el rango, la varianza, la desviación estándar, el coeficiente de variación y el rango intercuartílico (INE, 2009, p. 89).

3.1.6 Gráficas

La finalidad del uso de las gráficas es reconocer tendencias y patrones en los datos, que pasarían inadvertidos al usar exclusivamente métodos numéricos. Las gráficas pueden usarse para identificar problemas potenciales, descubrir eventos significativos y para sugerir medidas correctivas. Además, algunas representaciones gráficas se utilizan para registrar y guardar datos compactados o para presentar la información de otra manera. Las presentaciones gráficas de los datos incluyen el despliegue individual de los datos, cantidades estadísticas, datos temporales, datos espaciales y dos o más variables (INE, Manual 5. Protocolo de Manejo de Datos de la Calidad del Aire, 2009).

3.1.7 ICA

Es un valor adimensional para reportar el estado de la calidad del aire en función de un código de colores al que están asociados unos efectos generales que deben ser tenidos en cuenta para reducir la exposición a altas concentraciones por parte de la población. Este índice también

será utilizado en el pronóstico de la calidad del aire (Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017). A continuación, en la tabla uno (1) se muestra la clasificación del ICA.

Tabla 1.
Clasificación del ICA. Fuente: Tabla 6 Resolución 2254, 2017.

Valor del ICA	Color	Clasificación	Puntos de Corte del ICA						
			PM_{10} µg/m³ 24 horas	$PM_{2.5}$ µg/m³ 24 horas	CO µg/m³ 8 horas	SO_2 µg/m³ 1 hora	NO_2 µg/m³ 1 hora	O_3 µg/m³ 8 horas	O_3 µg/m³ 1 hora
0-50	Verde	Buena	0 -54	0-12	0-5094	0-93	0-100	0 – 106	____
51-100	Amarillo	Moderada	55 -154	13-37	5095-10819	94-197	101-189	107 – 138	____
101-150	Naranja	Dañina a la salud para grupos sensibles	155 –254	38-55	10820-14254	198-486	190-677	139 – 167	245-323
151-200	Rojo	Dañina a la salud	255 –354	55-150	14255-17688	487-797	678-1221	168 – 207	324-401
201-300	Púrpura	Muy dañina a la salud	355–424	151-250	17689-34862	798-1583	1222-2349	208 – 393	402-794
301-500	Marrón	Peligrosa	425-604	251-500	34863-57703	1584-2629	2350-3853	394*	795-1185

* El ICA de ozono de 8 horas no será calculado para concentraciones superiores a 394 µg/m³ Para valores superiores se realiza únicamente el cálculo de ICA de ozono para 1 hora.

3.1.8 Informes de calidad del aire

El objetivo principal de un informe es poner a disposición de las autoridades, investigadores, grupos ambientalistas y público en general, datos y análisis sobre la calidad del aire donde se posee el sistema de vigilancia de la calidad del aire. Allí se determinan las zonas donde hay mayor potencial de afectación de la salud humana, los contaminantes cuyas concentraciones superan los niveles máximos permisibles (MAVDT, Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, 2010).

3.2 MARCO LEGAL

- Resolución 2254 de 2017, del 01 de noviembre de 2017, expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, hoy, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, por el cuál adopta la norma de calidad del aire ambiente y dicta otras disposiciones.

- Resolución 650 de 2010, del 29 de marzo de 2010, expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, hoy, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, por el cual se adopta el protocolo para el para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire.
- Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, de octubre de 2010, expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, hoy, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, por el cual se establece el manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire.
- Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, de octubre de 2010, expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, hoy, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, por el cual se establece el manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire.

4 ACTIVIDADES Y METODOLOGÍA

Para el cumplimiento de los objetivos, se dispone de una metodología ejecutada en 4 fases cada una compuesta por unas actividades y procedimientos como se describe en los siguientes ítems:

4.1 FASE I. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LAS ESTACIONES

4.1.1 Conceptualización

Para el aseguramiento de la calidad de los reportes se requiere conocer las especificaciones de cada uno de los equipos, en cuanto a principio, objeto, calibración, caudal de succión, bomba, papel filtro utilizado, eficiencia de humedad, temperatura, energía de funcionamiento, entre otros. Para esta fase se consulta el manual y fichas técnicas del fabricante de los equipos trabajados en el SVCAUD.

4.1.2 Recopilación de información

La información de los equipos de medición, verificación y meteorológicos se obtendrán mediante la guía del usuario y los manuales de operación de los fabricantes Aeroqual, Teledine Api, Magee Scientific and Aerosol co, Met one Instruments Inc y MesaLabs, de allí se recopilarán las variables y especificaciones más conveniente para el SVCAUD.

Estas guías y manuales se conseguirán mediante la página web del fabricante o en los archivos que se encuentran almacenados en el laboratorio de calidad del aire en la sede Porvenir.

4.2 FASE II. VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Primero se debe realizar la validación en campo en donde notifica la ocurrencia de sucesos que influencian en la veracidad de la información. Posteriormente se realiza la descarga de los datos para la verificación de registros dudosos que presenten valores atípicos los cuales son

identificados con una bandera de validación o invalidación aplicando para datos de concentración y variables meteorológicas, luego se comprueba que el registro de los datos reportados cada 24 horas, sean iguales o mayores al 75% para ver la representatividad de la muestra y poder comparar dicha información con los límites máximos permisibles en el caso de Colombia.

4.3 FASE III. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA

Una vez validados los datos, según la información obtenida para cada contaminante en determinado intervalo de tiempo, se procederá a aplicar herramientas estadísticas con el propósito de facilitar el análisis e interpretación de los datos al momento de elaborar el reporte. A continuación, se describe brevemente las herramientas que se emplearán:

a. Promedio: Se utiliza el promedio aritmético y promedio geométrico.
b. Varianza: Muestra la variabilidad de una serie de datos con respecto a la media para observar su dispersión.
c. Desviación estándar: Indica la precisión de los datos.
d. Coeficiente de variación: Indica la dispersión del conjunto de datos.
e. Media móvil: Utilizado para reducir las fluctuaciones en la serie de datos.
f. Diagrama de caja y bigotes: Para desarrollar análisis de consistencia de datos.
g. Percentiles: Indica cuántos datos se encuentran dentro de unos rangos estipulados (percentiles) para observar cómo se distribuye la información.
h. Gráficas: Visualiza el comportamiento de los datos para facilitar su interpretación.

4.4 FASE V. REPORTE DE DATOS

Una vez aplicadas las herramientas estadísticas, se procede a elaborar el formato que reportará los informes semanal, mensual, trimestral y anual para su posterior publicación del estado de la calidad del aire, con el fin de informar a la comunidad universitaria y población en general. Se pretende reportar bajo una temporalidad establecida las condiciones de calidad del aire de cada sede de la Universidad Distrital, además, se debe especificar con qué equipamiento de medición de contaminantes y variables meteorológicas cuenta.

Los requisitos mínimos que se tendrá en cuenta para dicho reporte serán los que se establezca en el manual de operación del SVCA nacional. Igualmente se tendrá como base reportes publicados por el Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire de Santiago de Cali SVCASC y de la subdirección de administración de recursos naturales de la corporación autónoma regional de Boyacá. Por otra parte, se tendrán guías internacionales como el informe de la calidad del aire de la Ciudad de México y del análisis de la calidad del aire en España.

En la figura 1 se plasma de manera resumida el esquema de las 4 fases de la metodología con las actividades a ejecutar.

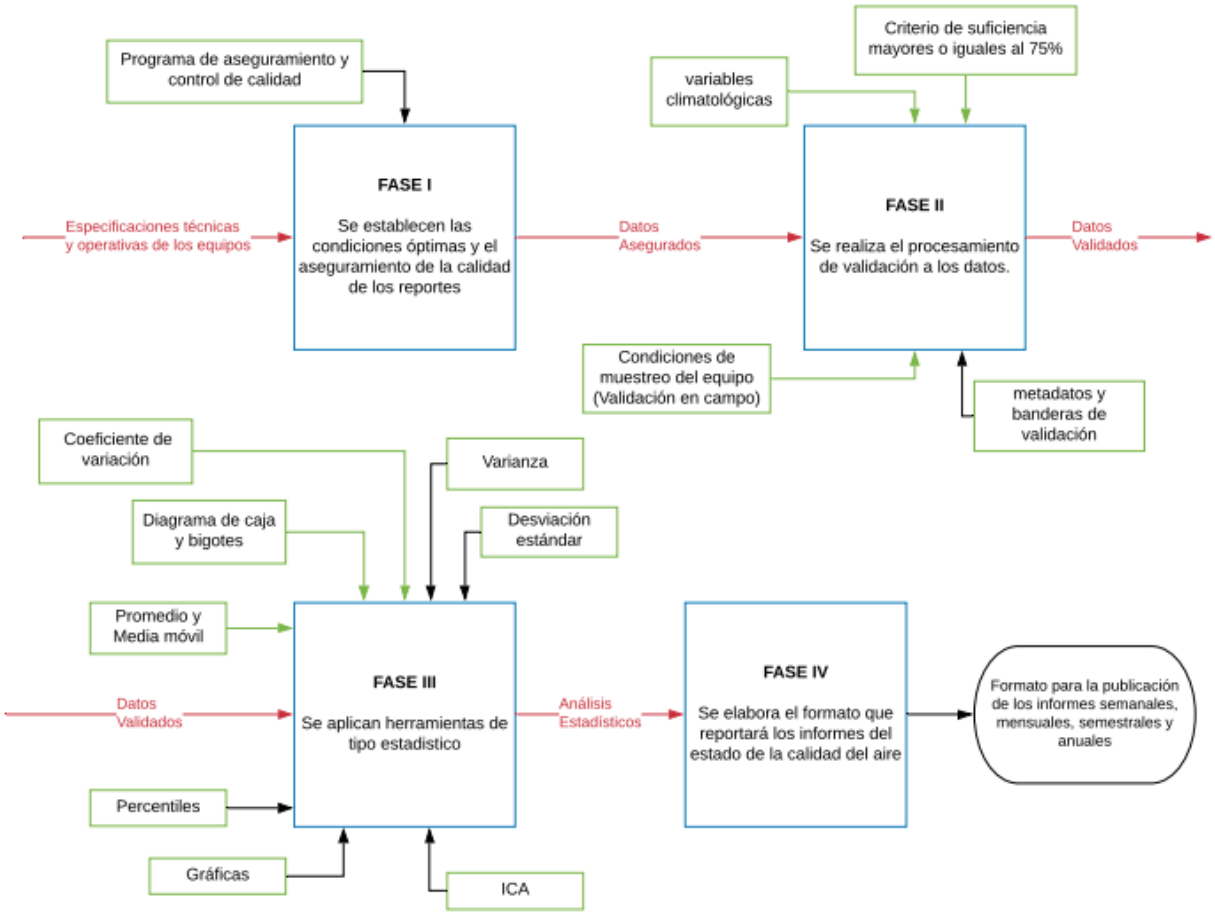


Figura 1. Esquema de trabajo. Fuente: Autores

5 RESULTADOS

5.1 FASE I. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LAS ESTACIONES

El SVCAUD cuenta con seis (6) estaciones de monitoreo ubicadas en las distintas sedes de la universidad Distrital, Porvenir y Macarena posee cada una un equipo de medición Bam1020, de la marca Met One, que mide material particulado menor a 10 micras (PM_{10}), la Facultad de Artes ASAB, facultad de medio ambiente (vivero) y facultad Tecnológica, cuenta cada una con un equipo AQM60 marca, Aeroqual, el cual realiza medición de PM_{10}, la sede Aduanilla de Paiba, cuenta con un equipo de monitoreo, Teledyne API 651,que mide partículas ultra finas, un Aetalometro AE33, que realiza medición de Carbon Negro (BC), Analizador de Ozono fotométrico T400, que realiza medición de Ozono.

Para dar cumplimiento al primer objetivo se realizó la revisión de los manuales de operación de los equipos que utiliza el SVCAUD. Se compilaron las especificaciones técnicas de las estaciones, en cuanto a principio, objeto, calibración, verificación, caudal de succión, bomba, papel filtro utilizado, eficiencia de humedad, temperatura y voltaje para su funcionamiento con el propósito de asegurar la calidad de la información, e igualmente se tuvo en cuenta las especificaciones del manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire donde menciona que en los pasos para la calibración tanto como para la validación debe realizarlo personal capacitado que tenga en mente el significado físico y químico de los parámetros monitoreados, el comportamiento local de los contaminantes, el conocimiento de los equipos del SVCAUD, los resultados de las verificaciones, entre otras. En la figura 2, se describe en un diagrama las generalidades a tener en cuenta:

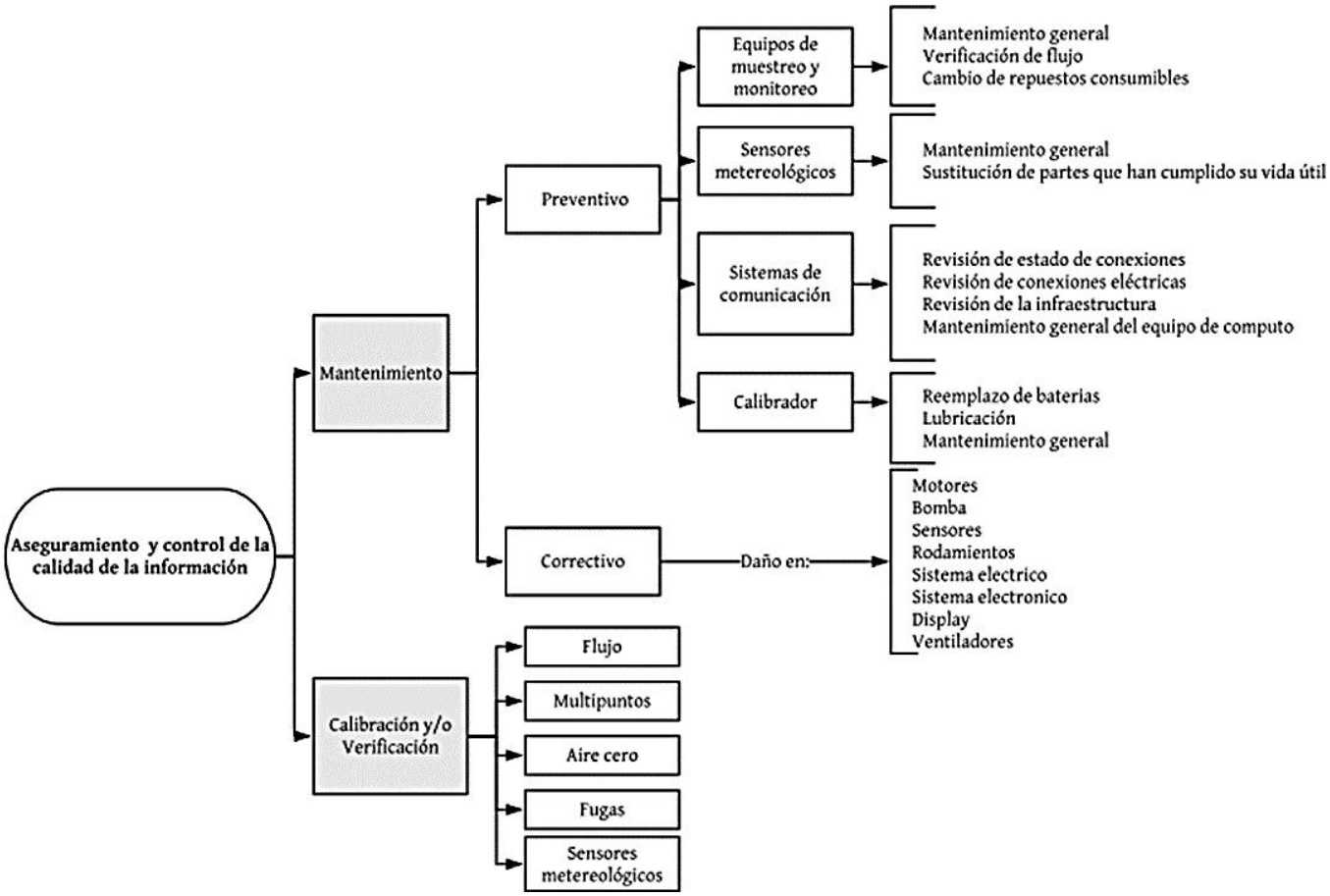


Figura 2. Diagrama fase I. Fuente. Autor.

5.1.1 Mantenimiento

Mantenimiento preventivo

Se realiza siguiendo el programa de aseguramiento y control de calidad establecido para corregir las fallas en un momento oportuno, ejecutando el reemplazo de repuestos consumibles, calibración, la inspección, verificación, limpieza, ajustes y lubricación de los equipos, con el fin de aumentar su productividad. Este tipo de mantenimiento se debe realizar de forma periódica y se debe llevar un registro documental de las actividades de rutina de las calibraciones e inspecciones.

Equipos de muestreo y monitoreo

El sistema de vigilancia de la calidad del aire, cuenta actualmente con seis equipos de muestreo, los cuales utilizan tecnología automática para medir contaminantes como ozono, material particulado menor a 10 micras, carbón negro y partículas ultra finas. El mantenimiento

preventivo para cada uno de los equipos se determinó según el manual del fabricante en el cual las especificaciones más importantes se tienen en cuenta en la sección 5.1.3. En la tabla 2, se encuentra el nombre del equipo, el contaminante que mide, la sede en donde se encuentra y la sección en donde se encuentra la tabla con sus descripciones para la ejecución del mantenimiento.

Tabla 2.
Especificación general de los equipos

EQUIPO	CONTAMINANTE	UBICACIÓN	NUMERAL
Estación ambiental AQM60	PM_{10}	Facultad de medio ambiente, facultad de artes ASAB y facultad tecnológica	5.1.3.1
BAM 1020	PM_{10}	Sede porvenir y Macarena	5.1.3.2
Teledyne API 651	Partículas ultra finas	Aduanilla de Paiba	5.1.3.3
Aetalometro AE33	Black Carbon	Aduanilla de Paiba	5.1.3.4
Analizador de ozono fotométrico T400	Ozono	Aduanilla de Paiba	5.1.3.5

Sensores meteorológicos

El SVCAUD actualmente cuenta con tres sensores meteorológicos que miden los parámetros de temperatura ambiente, humedad, velocidad y dirección del viento en la facultad de medio ambiente, sede Porvenir y sede Macarena. Para las otras sedes, los parámetros anteriormente mencionados los mide el equipo AQM60 (tabla 3). En la tabla 8 se describen las especificaciones del equipo meteorológico.

Sistema de comunicación

Este tipo de mantenimiento se debe realizar para garantizar una operación continua y proteger tanto la integridad física de las bases de datos, de los equipos y de la instalación en general ya que allí se concentra y transmite la información de la calidad del aire. Este tipo de verificación puede ayudar a identificar fallas internas, fallas de conexión o de transmisión, o fallas de configuración (INE, Manual 4. Operación de estaciones de medición de la calidad del aire, mantenimiento y calibración de sus componentes, 2010). A continuación, se describen las actividades de mantenimiento que se deben realizan.

- Revisión y limpieza de equipo de cómputo.
- Revisión del estado de conexiones.

- Revisión de instalaciones eléctricas mayores.
- Revisión de techos, paredes, ventanas, entre otros, para detección de humedad, goteras y acumulación de polvo.

Caudalímetro

El SVCAUD cuenta con instrumentos que realizan la verificación del flujo de los equipos para que cumpla con los estándares de referencia. El equipo TELEDYNE API T400 posee un sistema de aire cero para generadores de ozono 701 y un calibrador multipunto de precisión modelo T702 realizando la verificación en rangos como lo indica la tabla 11. Además, se utiliza el verificador Tetracal BGI y verificador de flujo Bios definer 220 para la verificación de flujo en los demás equipos de medición, estas especificaciones se encuentran en la sección 5.1.4. A estos equipos es indispensable la realización de una calibración anual por una empresa acreditada cumpliendo los estándares de las normas ISO 17025, ANSI Z540 y NIST Handbook 150 (MesaLabs, 2016).

Mantenimiento correctivo

Este mantenimiento se ejecuta cuando algún componente del equipo sufre un daño, resuelve problemas específicos, son fallas o eventos no programadas y puede implicar la sustitución de algunos repuestos. Debido a que los equipos utilizados son automáticos, estos notifican el tipo de falla que se está presentando.

5.1.2 Verificación y calibración

La verificación es el proceso en el que se genera un vínculo entre los resultados de la medición y un patrón conocido y la calibración consiste en el conjunto de operaciones establecidas por el fabricante, para garantizar que los valores obtenidos de la medición estén dentro de las condiciones conocidas y así minimizar el error. Estos procedimientos deben realizarse dentro de un estricto cronograma ya que éste es el paso más importante de la medición porque se obtienen datos precisos y reproducibles de calidad del aire que serán utilizados dentro del SVCAUD y darán autentificación de la calidad de los datos. La verificación o calibración para equipos de vigilancia de calidad del aire se debe realizar en las siguientes circunstancias:

- Tras la instalación inicial
- Después de la reubicación
- Después de cualquier reparación o servicio que pueda afectar su calibración
- Después de una interrupción en la operación de más de unos pocos días.
- Ante cualquier indicación de mal funcionamiento del instrumento o cambio en la calibración
- En algún intervalo de rutina (dada por el fabricante del equipo).
- Antes de retirar un equipo del sitio de vigilancia.
- Cada vez que el equipo se salga del rango de control de spam y cero.

Para los instrumentos meteorológicos la verificación o calibración debe ser la siguiente:

- En intervalos regulares de un año como máximo.
- Antes de que un equipo recientemente instalado empiece a reportar datos.
- Después de una reparación o el cambio de algún repuesto.

5.1.3 Especificaciones de los equipos de medición y meteorológico

Según los manuales de operación estipulados por los fabricantes y lo anteriormente mencionado, se presentan las tablas de la 3 a la 11 con las variables que son únicas de los equipos del SVCAUD y que se deben tener en cuenta para su verificación y calibración. Igualmente se encuentra el programa de aseguramiento y control de calidad para mantener operando correctamente los equipos, reduciendo la perdida de la información, previniendo reparaciones, el deterioro de los equipos y evitando gastos extraordinarios.

5.1.3.1 Estación ambiental AQM60

En la tabla 3 se describen las especificaciones del equipo AQM60, realiza mediciones de PM_{10}, se encuentra ubicado en la facultad de medio ambiente, artes ASAB y tecnológica, el fabricante del equipo es Aeroqual.

Tabla 3.
Especificaciones de la estación ambiental AQM60

Descripción del equipo			
Nombre:	Estación ambiental AQM60	**Clasificación:**	Automático
Ubicación:	Facultad de medio ambiente, facultad de artes ASAB y facultad tecnológica		
Fabricante	**Modelo**	**Distribuidor en Colombia**	**Principio de medición**
Aeroqual	AQM60	Sanambiente Ltda.	Nefelometria

Especificaciones de medición				
Magnitud de medición	**Unidad**	**Rango mínimo**	**Rango máximo**	**Exactitud**
PM_{10}	$\mu g/m^3$	0 $\mu g/m^3$	2000 $\mu g/m^3$	+/- 8%

Sensibilidad	**Precisión**	**Captura de datos**	**Filtro**
1 $\mu g/m^3$	3 $\mu g/m^3$	1 Minuto	Membrana 5 µm

Aire cero	**Prueba de fugas**	**Flujo de muestra**
Flujo de 1.5 LPM	Flujo de salida de la bomba: 0 LPM	2.0 $\pm$0.1 L / min

Tensión eléctrica Voltaje	**Potencia**	**Amperaje**	**Peso**
120/220 VAC 50/60HZ	192W	12A	60 kg

Variables climatológicas	
Anemómetro	
Rango de medida	0-99 mph (normal)
Veleta de viento	
Rango de medida	0-360 Grados azimuth
Humedad y temperatura del sensor	
Parámetro	**Rango**
Humedad	0 a 100%RH
Temperatura	-40 a 120°C

Programa de aseguramiento y control de calidad		
Intervalo	**Ítem**	**Procedimiento**
Semanal	Filtro de entrada de partículas	Revisión / Remplazo
Mensual	Revisión del spam de la fibra de PM	Realizar
	Revisión del sensor de flujo	Realizar
6 meses	Ciclón de PM	Limpiar
	Controles multipuntos	Realizar
1 año	Muestra de PM y purga de filtros	Remplazar

Fuente. Elaboración propia a partir de la guía de usuario de Aeroqual, 2010.

5.1.3.2 BAM 1020

La tabla 4, muestra las especificaciones del equipo BAM1020, el cual se encuentra ubicado en la sede Porvenir y Macarena, desarrolla mediciones de material particulado menor a 10 micras (PM_{10}), su fabricante es Met one Instruments, adicional se describe el control y aseguramiento de la calidad para su adecuado funcionamiento y a su vez la confiabilidad de los datos. El equipo se encuentra avalado por la EPA, EQPM-0798-122.

Tabla 4.
Equipo BAM 1020

Descripción del equipo			
Nombre:	BAM-1020	**Clasificación**	Automático
Ubicación:	Sedes Porvenir y Macarena	**Contaminante:**	Partículas menores de 10µ de diámetro

Fabricante	Modelo	Distribuidor en Colombia	Principio de medición
Met one Instruments.	BAM-1020	Sanambiente Ltda.	Concentración relativa de la atenuación de rayos Beta.

Especificaciones de operación			
Corriente eléctrica Intensidad	**Tensión eléctrica Voltaje**	**Potencia**	**Peso**
15A	120/220 VAC 50/60HZ	262 W	60 kg

Especificaciones de medición			
Magnitud de medición	**Unidad**	**Límite de detección**	**Caudal de succión**
PM_{10}	mg/m^3	0 - 10 mg/m^3	16,7 litros/ minuto

Precisión	Resolución	Captura de datos	Filtro
±8%, > 0.1 mg/m^3, 1 Hr. ±2%, > 0.1 mg/m^3, 24 Hrs.	± 2µg/m^3, MAX	Hora	Fibra de Vidrio, 30 mm x 21mm

Detector	Clasificación de partículas	Recogida de polvo
Membrana de encintación	PM_{10}, 100% CUT > 10 nm	Sistema de filtración

Condiciones de funcionamiento Ambientales	
Temperatura	0ºC -40ºC
Rango de humedad ambiental	0 a 90% HR, sin condensación

Programa de aseguramiento y control de calidad		
Intervalo	**Ítem**	**Procedimiento**
Mensual	Calibración de flujo	Calibrar
	Calibración de la membrana de referencia	Calibrar
	Calibración de la concentración	Calibrar
	Verificación del sistema de flujo	Verificar
	Limpieza del eje del cabrestante y los neumáticos del rodillo de presión	Limpiar
	Verificación y configuración del reloj de tiempo real	Verificar
	Realizar control de fugas	Realizar
	Limpieza de la trampa de partículas de entrada PM_{10}	Limpiar
2 meses	Cambio de cinta filtro	Reemplazar
3meses	Inspeccionar / limpiar Rejilla contra mosquitos	Inspeccionar/Limpiar
	Calibración completa del sistema de flujo	Calibrar
	Desmontar y limpiar completamente la entrada PM_{10} y el ciclón $PM_{2.5}$.	Limpiar
6 meses	Reemplazar o limpiar el silenciador de la bomba	Inspeccionar/Limpiar
	Pruebe el filtro RH y los sensores de temperatura del filtro	Reemplazar/Limpiar
	Pruebe la función del calentador inteligente	Verificar
1 año	Cambio Silenciador de bomba	Reemplazar repuesto
	Limpieza del filtro interno de residuos	Limpiar
	Retire y revise la lámina de membrana	Verificar
	Tasa de conteo del detector beta y prueba de conteo oscuro	Verificar
2 años	Cambio de Kit de reconstrucción de bomba de succión	Reemplazar repuesto
4 años	Cambio de elemento de filtro interno- repuesto	Reemplazar repuesto

Fuente. Elaboración propia a partir de la guía de usuario de Met one, 2008

5.1.3.3 Teledyne API 651

El equipo teledyne API651, como lo muestra la tabla 5, realiza mediciones de partículas ultrafinas, se encuentra ubicado en la Aduanilla de Paiba, su fabricante es Teledyne API, la tecnología utilizada es de clasificación automático.

Tabla 5.
Especificaciones del equipo Teledyne API 651

Descripción del equipo			
Nombre:	Ultrafine Particle Monitor	**Clasificación**	Automático
Ubicación:	Aduanilla de Paiba	**Contaminante:**	Partículas Ultra finas

Fabricante	**Modelo**	**Distribuidor en Colombia**	**Principio de Análisis**
TELEDYNE API	651	Sanamiente Ltda.	Contador de partículas de condensación a base de agua

Especificaciones de medición			
Partícula detectable máxima	**Partícula detectable mínima**	**Conteo de partículas**	**Unidad**
3 µm	7 nm	De 0 - 10^6 partículas/ cm^3	# partículas/ cm^3

Exactitud de la medición	**Flujo**	**Captura de datos**	**Condensación del líquido**
±10 el % en 10^6 partículas/cm^3	Entrada de alto flujo: 3 ± 0.3 L/min Entrada de bajo flujo: 0.6 ± 0.06 L/min	1 minuto	Agua destilada

Especificaciones de operación			
Corriente eléctrica Intensidad	**Tensión eléctrica Voltaje**	**Potencia**	**Peso**
1,5 A	100-240 VAC, 50/60Hz	145W	9,9 kg

Condiciones de funcionamiento Ambientales	
Rango Temperatura ambiente	10- 38 Grados Celsius
Rango de Humedad del ambiente	0- 90% sin condensación
Presión absoluta de operación entrada	Desde 50 -110 KPa (0.5 -1.1 atm)
Medidor de presión de entrada	1-5 KPa (-20 pulgadas de H2O)

Programa de aseguramiento y control de calidad		
Intervalo	**Ítem**	**Procedimiento**
Tanto como se requiera	Limpieza de botella de agua	Limpiar después de cada uso
Mensual	Repuesto: Mecha (Wick)	Cambiar
	Chequeo de flujos del Aerosol	Realizar después de cambio de mecha
6 meses	Inspección y limpieza de ventiladores	Inspección/Limpiar
1 año	Inspección a las líneas de Líquido	Inspección/Reemplazar
	Filtros (el modelo 651 contiene 3 filtros)	Reemplazar

Fuente. Elaboración propia a partir de la guía de usuario de Teledyne, 2011

5.1.3.4 Aetalometro AE33

Como lo muestra la tabla 6, el Aetalómetro AE33, mide carbón negro, el equipo se encuentra ubicado en la Aduanilla de Paiba, es del fabricante Magee Scientific and Aerosol co., a continuación, se describen las especificaciones de medición, programa de aseguramiento y control de la calidad, entre otras especificaciones.

Tabla 6.
Equipo Aetalometro AE33

Descripción del equipo			
Nombre:	Aetalometro	**Clasificación**	Automático
Ubicación:	Sede Aduanilla de Paiba	**Contaminante:**	Black Carbon (BC)

Fabricante	**Modelo**	**Distribuidor en Colombia**	**Principio de medición**
Magee Scientific and Aerosol co.	AE33	Sanambiente Ltda.	Análisis de espectro de 7 longitudes de onda: 370, 470, 525, 590, 660, 880,940nm

Especificaciones de operación		
Tensión eléctrica Voltaje	**Potencia**	**Peso**
100 - 230 VAC 50/60 Hz	85W	21 kg

Especificaciones de medición			
Magnitud de medición	**Unidad**	**Límite de detección**	**Captura de datos**
BC, PMUV.	ng/m^3	<10 a > 100000 nm / m3 BC	1 Minuto
Sensibilidad	**Resolución**	**Filtro**	
30 nm /m^3, 1 min, 5 LPM.	0.001 µg / m^3 ó 1 ng / m^3	Cinta de filtro de vidrio PTFE	
Cero Automático y Span	**Caudal**	**Prueba de fugas**	**Flujo de aire ajustable**
0	2-5 l/s	5% a 5 LPM	2, 3.4 y 5 LPM

Condiciones de funcionamiento Ambientales	
Altitud	hasta 3000 m
Rango de temperatura del instrumento	0 - 30 Grados Celsius
Rango de Humedad relativa	sin condensación

Programa de aseguramiento y control de calidad		
Intervalo	**Ítem**	**Procedimiento**
Tanto como se requiera	Instalación de nuevo rollo de cinta	Remplazo
	Calibración de sensor de cinta	Realizar al instalar nuevo rollo
Mensual	Revisión de flujo de la entrada y flujo de salida de la muestra	Realizar
	Inspección al tubo de la línea de la muestra	Realizar
	Prueba automática de Aire Limpio	Realizar
	Verificación de fecha y hora	Verificar
6 meses	Inspección a la cámara óptica	Limpiar
	Verificación de flujo	Calibrar
1 año	Cambiar cartucho del filtro de paso	Reemplazar

Fuente. Elaboración propia a partir del manual del usuario de Magee Scientific and Aerosol co.

5.1.3.5 Analizador de ozono fotométrico

El equipo T400 es fabricado por Teledyne API y se encuentra avalado por la EPA (EQOA-0992-087), tiene la función de realizar mediciones de Ozono. Este equipo se encuentra ubicado en la Aduanilla de Paiba. En la tabla 7 se presentan la descripción, especificaciones y el programa de aseguramiento y control de calidad.

Tabla 7.
Analizador de ozono fotométrico

Descripción del equipo			
Nombre:	Analizador de ozono fotométrico	**Clasificación:**	Automático
Ubicación:	Aduanilla de Paiba		
Fabricante	**Modelo**	**Distribuidor en Colombia**	**Principio de medición**
TELEDYNE API	T400	Sanambiente Ltda.	Absorción UV

Especificaciones de medición			
Magnitud de medición	**Unidad**	**Rango mínimo**	**Rango máximo**
O_3	ppm	0-100 ppb	0-10 ppm Escala completa
Límite inferior detectable	**Captura de datos**	**Precisión**	**Velocidad de flujo de muestra**
<0.4 ppb	1 Minuto	<0.5%	800 cc / min ± 10%

Filtro	**Amperaje**	**Tensión eléctrica Voltaje**	**Potencia**	**Peso**
Filtro de vidrio	3A	100 - 120 V/ 60 Hz	110W	13.8 kg

Rango temperatura de operación	**Rango de humedad**	**Rango de presión**
5 - 40 ° C	0-90% HR, sin condensación	25 - 31 "Hg-A

Control de fugas	**Concentración mínima**	**Concentración máxima**
<1Hg (0.4 psi) en 5 minutos	0.050 ppm	1.0 ppm

Programa de aseguramiento y control de calidad			
Ítem	**Acción**	**Frecuencia**	**Revisión/Calibración**
Filtro particular	Reemplazar	Semanalmente o según sea necesario	Si
Verificar funciones de prueba	Grabar y analizar	Semanalmente o después de cualquier mantenimiento o reparación	No
Diafragma de la bomba	Reemplazar	Según sea necesario	Si
Depurador de O3 de referencia	Reemplazar	Cada 2-5 años, según sea necesario	Si
Depurador de aire cero IZS	Reemplazar	Anualmente	No
Desecante (Opción 56)	Reemplazar	Regularmente/según sea necesario	No
Tubo de absorción	Inspeccionar/limpiar	Anualmente/según sea necesario	Si
Comprobación de flujo	Realizar verificación de flujo	Cada 6 meses	No
Control de fugas	Realizar control de fugas	Anualmente o después de cualquier mantenimiento o reparación	Si
Líneas neumáticas	Examinar y limpiar	Como sea necesario	Sí, si se limpia

Fuente. Elaboración propia a partir de la guía de usuario de Teledyne, 2018.

5.1.3.6 Estación meteorológica AutoMet

Las estaciones meteorológicas fabricadas por Met one Instruments Inc., están ubicadas en las sedes Porvenir, Macarena y vivero, realiza mediciones de velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad, presión y radiación solar, en la tabla 8, se encuentran estipuladas las especificaciones de los sensores de medición.

Tabla 8.
Estación meteorológica AutoMet

Descripción del equipo					
Nombre	Estación meteorológica AutoMet	**Fabricante**	Met one Instruments Inc.	**Modelo**	466A
Ubicación	Sedes, Porvenir, Vivero y Macarena	**Distribuidor en Colombia**	Sanambiente		
Especificaciones de medición					
Sensor de velocidad y dirección del viento					
Sensor de velocidad y dirección del viento	**Temperatura de operación**	**Rango de velocidad**	**Rango de dirección**		
	-50 a + 50ºC	0 – 44.70m/s	0 – 360 º		
Sensor de temperatura y humedad relativa	**Humedad relativa**	**Temperatura**			
	0 – 100%	-20 º a + 60º C			
Sensor de presión barométrica	**Temperatura de operación**	**Rango de presión**			
	-40º a +65ºC	660 – 812.8 mmHg			
Sensor de radiación solar	**Rango**	**Error máximo**			
	400 -1100 nm	5%			
Ciclo de medición	1 Hora	**Intervalo de datos**	1- 60 minutos		
Control y aseguramiento de la calidad					
Intervalo	**Ítem**	**Procedimiento**			
3 meses	Mantenimiento general	Limpiar			
1 año	Calibración de sensores	Calibrar			
	Cambio de baterías	Reemplazar			

Fuente. Elaboración propia a partir de la guía de usuario de Met one Inc.

5.1.4 Especificaciones de los verificadores

Los verificadores de flujo son el instrumento que permite comprobar el estado de los muestreadores que funcionan mediante una bomba de succión. Los caudalímetros tetraCal BGI y Bios Definer 220 sirven para la verificación del caudal, temperatura y la presión en los equipos BAM 1020 y el AQM 60.

5.1.4.1 Verificador de flujo tetraCal BGI

El verificador de flujo tetraCal BGI es utilizado en instrumentos de muestreo de aire de higiene ambiental e industrial y se caracteriza por ser portátil. En la tabla 9 se muestran las especificaciones técnicas, así como los mantenimientos preventivos y calibración del mismo.

Tabla 9.
Verificador de flujo tetraCal BGI

Descripción del equipo			
Nombre	Calibrador tetraCal BGI	**Fabricante**	MesaLabs
Especificaciones			
Rango de tasa de flujo tetraCal:	**Precisión de flujo:**	**Temperatura rango operacional:**	
0.1 - 30 Lpm (± 1%)	0,75% de lectura	-30 ° C a 55 ° C	
Precisión de Temperatura:	**Rango de presión barométrica:**	**Precisión de presión barométrica:**	
0.5 ° C	400 a 800 mmHg	5 mmHg	
Baterías	**Uso:**	**Tensión eléctrica**	
AA alcalina	campo y laboratorio	(120/240 VCA)	
Mantenimiento Preventivo			
Intervalo	**Ítem**	**Procedimiento**	
Tanto como se requiera	cambio de baterías	Reemplazo	
	Paso del flujo a través del Venturi	Limpiar	
Calibración			
Calibración	**Procedimiento**		
Anual	Calibración del sensor de temperatura y presión si fuese necesario Calibración de flujo multipunto sin ajuste		
	Calibración de flujo multipunto sin ajuste		
Requerimientos			
Empresa acreditada según los estándares de las normas ISO 17025, ANSI Z540 y NIST Handbook 150.			

Fuente. Elaboración propia a partir de la guía de usuario de MesaLabs.

5.1.4.2 Verificador de flujo Bios Definer 220

En la tabla 10 se presenta las especificaciones del caudalímetro Bios Definer 220, este es utilizado en el equipo BAM 1020 para verificar el caudal, temperatura y la presión; y en el equipo AQM 60 para la verificación del caudal.

Tabla 10.
Verificador de Flujo Bios Definer 220

Descripción del equipo			
Nombre	Calibrador de Flujo Bios Definer 220	**Fabricante**	Mesa Labs
Especificaciones			
Aplicación:	**Rangos de flujo**	**Precisión:**	
Calibradores y Generadores de Gases	5 scc / min - 30,000 scc / min	1% estandarizado / 0,75% volumétrico	

Humedad	Sensor de presión y temperatura	Calibración
< 70%	En la corriente de flujo Presión: 3,5 mmHg - 7,0 mm; Temperatura: 0.8° C - 1.3° C	Anual
Requerimientos		
Empresa acreditada según los estándares de las normas ISO 17025, ANSI Z540 y NIST Handbook 150.		

Fuente. Elaboración propia a partir de la guía de usuario de MesaLabs, 2016.

5.1.4.3 Verificador de precisión modelo T701 y T702 para ozono

La tabla 11 muestra las especificaciones técnicas que presenta el verificador de precisión T701 y T702 para ozono.

Tabla 11.
Calibrador de precisión modelo T701 y T702

Descripción del equipo			
Nombre	Calibrador de precisión modelo T702	**Fabricante**	Teledyne API
Función	Calibrador multipunto	**Aplicación**	Analizador de ozono fotométrico
Especificaciones			
Precisión de medición de flujo	**Rango de flujo de diluyente**	**Rango de flujo de gas**	
± 1% FS	1 a 3 SLPM	10 a 50 ccm	
Rango de concentración de ozono	**Resolución de ajuste de ozono**	**Rango de temperatura ambiente**	
50 ppb -4 ppm (máximo)	5 ppb	5 - 40°C	
Sistema de aire cero para generadores de Ozono modelo T701			
Temperatura de funcionamiento	**Requisitos de energía**	**Rango de salida**	
5 - 40ºC	110V-120V	20 SLPM a 30 psig	
Concentración de salida O_3			
<0 .4 ppb			
Intervalo	**Ítem**	**Procedimiento**	
1 año	"Entrada de aire" en el panel posterior	Reemplazar	
	Filtro de partículas	Reemplazar	
Tanto como se requiera	Secadora Regenerativa	Reemplazar	

Fuente. Elaboración propia a partir de la guía de usuario de Teledyne modelos T701 y T702.

5.1.5 Sistema de diligenciamiento de datos

Para la adquisición de datos se utiliza el software ENVISTA ARM que permite la transmisión directa de datos desde las estaciones de monitoreo hasta la central de control. Una vez obtenidos los datos, se inicia el proceso de validación mediante este mismo software u otras herramientas estadísticas, con el propósito de construir la base de datos validos que serán utilizados para llevar a cabo el análisis de la calidad del aire y meteorología de las estaciones del SVCAUD. Una de las características y ventajas de este software es que se puede visualizar la información en tiempo real de lo que ocurre en las estaciones habilitadas entre otras que se mencionan en la tabla 12.

Tabla 12.
Envista ARM

FICHA TÉCNICA ENVISTA AIR RESOURCES MANAGER	
Envista ARM es un software especializado para el control de la supervisión, gestión y análisis de datos de redes de monitoreo ambiental, permitiendo ver, informar y distribuir datos de calidad del aire.	
Principales características del software	
-Mantiene datos históricos sin limitación. -Interfaz de documentos múltiples. -Acceso multiusuario al mismo tiempo. -Transmisión de alertas / alarmas por SMS y correo electrónico. -Recopila datos de estaciones remotas en horarios programados o bajo petición.	- Gestiona hasta 999 estaciones remotas. - Pantallas dinámicas. - Copias de seguridad automáticas de datos. - Análisis de datos e informes. -Control de calidad sobre la marcha. - Visor de mapa dinámico SIG (formato SHP). - Diseñador de informes ad-hoc.
Pantallas dinámicas	
Tabular	Muestra los datos actuales de una o más estaciones.
Última recepción	Fecha / hora de los últimos datos y calibración recibidos de cada estación.
Dynamic GIS Map Viewer	Interfaz del visor GIS para la visualización de datos en el mapa de capa GIS base proporcionado por el usuario.
Informes y análisis	
Descripción	Esta función permite producir, imprimir y exportar informes textuales y gráficos.
Informe de datos de estación	Informes tabulares y gráficos diarios, semanales, mensuales y periódicos para los monitores seleccionados de la estación seleccionada. Los valores de datos almacenados pueden promediarse antes de ser reportados.
Grupo	refleja el grupo de monitores relacionados con una o más estaciones según lo configurado.
Histograma	Distribución de frecuencia de aparición de varios rangos de datos.
Informes operacionales	
Descripción	El uso de esta función permite ver la calidad operativa de la red
Calibración	Analizadores de informes de calibración de 2 puntos, 3 puntos y multi punto.
Estado	Muestra el % de un conjunto de datos seleccionado con varios códigos de estado.
Diagnóstico	Avisa la información de diagnóstico recopilada de analizadores inteligentes.
Alertas	Lista de las alertas durante el período seleccionado.
Comunicación	El informe refleja los errores de comunicación que se han producido durante el período seleccionado en las estaciones seleccionadas.
Datos faltantes	Informe que refleja las veces que no había datos en la estación.

Fuente: Elaboración propia a partir del manual de Envista ARM, ENVITECH, 2013.

5.2 FASE II. VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Este procedimiento permite la depuración de la información con el propósito de establecer la veracidad de los datos para su análisis posterior. La validación debe realizarse de manera secuencial ya sea de forma manual o a través de software por personal calificado con criterio para descartar y/o aprobar los datos adquiridos del monitoreo. Para el SVCAUD se establecen 3 niveles:

- Nivel 0 datos crudos.
- Nivel 1 validación en campo.

- Nivel 2 procesamiento de la información en la estación central.

5.2.1 Nivel 0

El nivel 0 corresponde a los datos que han sido recibidos directamente al servidor del centro de control. Estos datos se consideras crudos o brutos ya que no se han realizado ningún ajuste por problemas que pueden ser identificados durante sucesos como el mantenimiento preventivo, revisiones rutinarias, auditorias, calibración, verificación y cortes de energía. El propósito de usar estos datos es para supervisar la operación continua de los equipos de muestreo. Este nivel muestra un conjunto de datos completo, mas no suficiente, pero de calidad no definida. (Hidalgo, 2011)

5.2.2 Nivel 1

La validación en campo hace referencia a la que es realizada en el lugar de la estación de monitoreo. Como lo muestra la figura 3, según la especificación del rango de trabajo en cada uno de los equipos, es la determinación de valores inusuales presentados, para posteriormente registrar el problema ya sea por falta de energía, interrupciones de cualquier tipo entre otras, contribuye en la invalidación del dato según sea el caso. (MAVDT, Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, 2010)

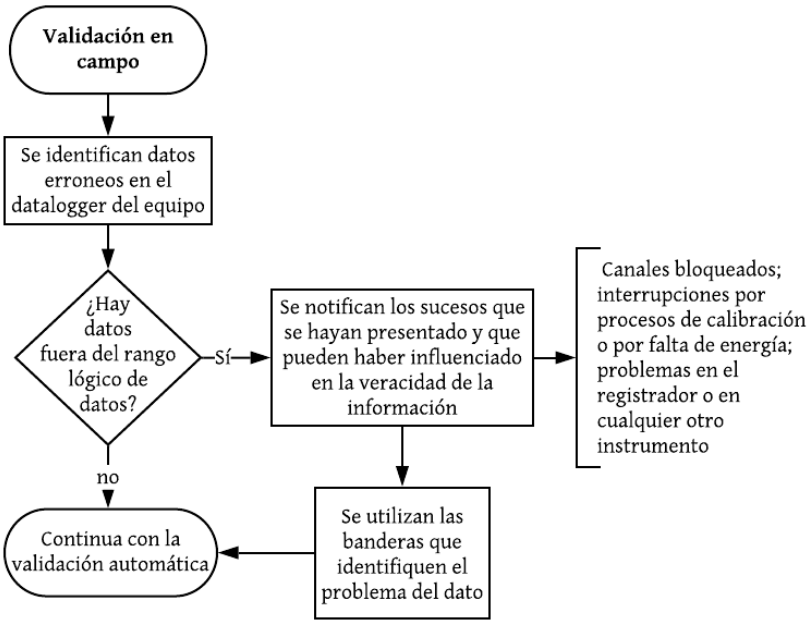


Figura 3. Diagrama de validación en campo

5.2.3 Nivel 2, Validación en la estación central

Para este tipo de validación es indispensable que el personal tenga conocimientos de las variables medidas en el sistema de vigilancia. En esta fase se realiza la descarga de datos, el cálculo para pasar a condiciones de referencia según aplique, revisión e identificación con banderas, cumplimiento con el criterio de suficiencia del 75% y almacenamiento en la base de datos.

Proceso de descarga de datos

La recomendación según el protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire es realizar la descarga de datos por lo menos cada dos días. En la figura 4, se muestran los equipos de comunicación con los que cuenta el SVCAUD y por la cual se lleva a cabo el proceso de descarga de datos

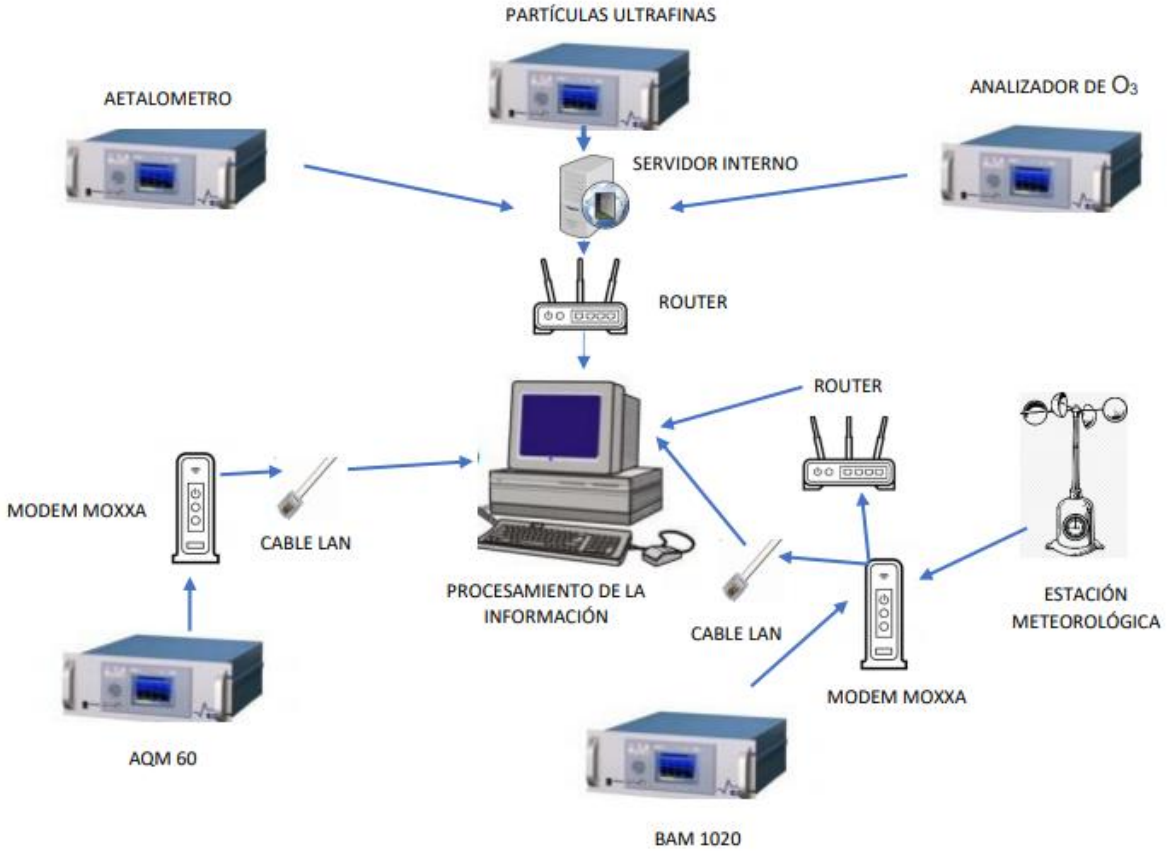


Figura 4. Comunicación del sistema de vigilancia. Fuente: Autores.

El proceso de descarga de datos es dado a través de un archivo plano, compatible con Excel, en la figura 5 se muestra un ejemplo de datos recolectados del equipo Bam1020, contaminante PM_{10}.

1	2	3	4	5	6	7
date	PM10	Qtot	wd	ws	RH	Tem
1/03/2019 0:00	29	0,64	52,3	2,3	66,4	14,4
1/03/2019 1:00	81	0,643	189,7	0,9	76,6	12,9
1/03/2019 2:00	129	0,645	177,4	0,7	79,4	12
1/03/2019 3:00	76	0,645	209,2	0,7	78,1	11,8
1/03/2019 4:00	61	0,642	224,2	0,8	77	12
1/03/2019 5:00	62	0,643	230,8	0,7	76,7	12,1
1/03/2019 6:00	69	0,644	239,1	0,9	77,8	12
1/03/2019 7:00	114	0,644	181,3	0,4	78,1	12,1
1/03/2019 8:00	104	0,642	218,9	0,9	74,6	13
1/03/2019 9:00	92	0,64	251	1,2	69,9	14,4
1/03/2019 10:00	87	0,634	64,4	1,8	56,8	17,1
1/03/2019 11:00	101	0,635	103,1	1,8	56,8	17,4
1/03/2019 12:00	61	0,63	97,1	1,6	49,5	19,2
1/03/2019 13:00	63	0,626	65,3	1,8	44	20,8
1/03/2019 14:00	94	0,626	164	2,9	51,6	20,7
1/03/2019 15:00	86	0,625	143,7	4	55,2	20,5
1/03/2019 16:00	62	0,627	161,8	4,5	60,1	19,5
1/03/2019 17:00	64	0,627	151,9	3,2	60	19,5
1/03/2019 18:00	52	0,632	142,4	3,1	67,6	17,7
1/03/2019 19:00	38	0,634	338	2,8	64,2	16,5
1/03/2019 20:00	46	0,637	358,5	1,9	64,8	15,7
1/03/2019 21:00	59	0,637	279,3	1,2	66	15,5
1/03/2019 22:00	91	0,637	348,1	1,6	68,7	15,5
1/03/2019 23:00	85	0,639	179,8	0,6	71,7	14,9
2/03/2019 0:00	182	0,641	204	0,5	76,6	13,9

Figura 5. Visualización de archivos

Dónde: 1) fecha d/M/aaa, hora HH, 2) concentración $\mu g/m^3$ de PM_{10}) caudal m^3/h 4) dirección del viento, Grados, 5) velocidad del viento m/s, 6) Humedad relativa %, 7) Temperatura ambiente, Grados Celsius.

Correcciones a condiciones estándar de los equipos del SVCAUD

Las correcciones a condiciones estándar se hacen con el objetivo de realizar la comparación con los límites máximos permisibles estipulados en la normativa nacional e internacional. El equipo puede generar directamente las concentraciones en condiciones estándar siempre y cuando se tenga la temperatura y la presión.

La ecuación 1, es utilizada para realizar la corrección al caudal a condiciones estándar y la ecuación 2, se utiliza para la corrección de concentración estándar. El equipo BAM1020, utiliza la ecuación 1, que es programada internamente al momento de realizar la verificación, en el caso del equipo Aeroqual, se utiliza cualquiera de las dos ecuaciones al momento de realizar la fase de procesamiento de datos.

$$Qstd = QC * F \qquad F = \frac{Pa}{Pstd} * \frac{Tstd}{Ta}$$

Ecuación 1. Caudal estándar

$$[\,]std = [\,]a * \mathrm{F} \qquad F = \frac{Pstd}{Pa} * \frac{Ta}{Tstd}$$

Ecuación 2. Corrección de la concentración estándar

Donde:

Qc =Caudal de muestreo, L/min.
Pa = Presión ambiente, mmHg.
Ta = Temperatura ambiente, °K.
Pstd = Presión estándar, 760 mmHg.
Tstd = Temperatura estándar, 298.15 °K.
[ ]std=Concentración estándar, µg/m^3.
[ ]a= Concentración actual, µg/m^3.
F= factor de ajuste.

Para realizar el ajuste del analizador de Ozono, se aplica la siguiente ecuación tomada del Manual de operaciones de Sistemas de vigilancia de la calidad del aire.

$$(Ci)st = \frac{(P)st * (T)j}{(T)st * (P)j} * (Ci)j$$

Ecuación 3. Concentración estándar Ozono

En donde:

(Ci)j: Concentración del contaminante i en la región o ciudad j
(P)j: Presión en la región o ciudad j, es decir la condición local de presión
(T)j: Temperatura en la región o ciudad j, es decir la condición local de Temperatura.
(P)st: Presión a condiciones de referencia (760 mmHg de presión)
(T)st: Temperatura a condiciones de referencia (298,15°K o 25º C)

(Ci)st: Concentración estándar Ozono.

Luego de expresar los datos en condiciones de referencia, se realiza la conversión de unidades para realizar la comparación con la normativa de la siguiente manera:

- Pasar de ppb a ppm
  $$ppm = \frac{ppb}{1000}$$
- Convertir de ppm a µg/m^3
  $$\mu g/m^3 = \frac{ppm * PM}{24.5} * 1000$$

Dónde:

$\mu g/m^3$ = Concentración del contaminante por peso por unidad de volumen de aire
ppm=Concentración del contaminante por volumen por unidad de volumen de aire.
PM=Peso molecular del agente contaminante conocido

*Nota: La ecuación para la conversión de unidades se establece para las condiciones de referencia 25°C (298,15 °K) y de temperatura 760 mmHg (101,325 KPa) de presión.

Posteriormente se toma el conjunto de datos que integren 8 horas de medición y se realiza el promedio aritmético.

$$(Cprom)j = \frac{\Sigma Ci}{n}$$

Ecuación 4. Concentración promedio del periodo de tiempo.

Dónde:

(C_{prom})j: Concentración promedio del periodo de tiempo j
ΣCi: Suma de los "n" datos de concentración del contaminante i obtenida en el periodo de tiempo j.
n: Cantidad de datos obtenidos en el periodo de tiempo j.

Banderas de validación e invalidación de los datos

Las banderas se utilizan para identificar sucesos, estas son estipuladas por el protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, donde indica la importancia de que los procesos de validación sean homogéneos en los diferentes SVCA automáticos en Colombia, unificando las banderas que muestren los distintos estados del dato. En la tabla 13 se presentan las banderas utilizadas:

Tabla 13.
Banderas que indican validez e invalidez

Banderas que indican validez del dato		
BANDERA	VALIDEZ	DESCRIPCIÓN
V	S	Dato válido
O	S	Dato corregido
R	S	Dato reconstruido
<	S	Falta de datos
^	S	Valor alto del equipo
_	S	Valor bajo del equipo
/	S	Cambio brusco de la concentración
Banderas que indican invalidez del dato		
BANDERA	VALIDEZ	DESCRIPCIÓN
C	N	Dato perturbado por la calibración
S	N	Dato perturbado por la calibración de Span
Z	N	Dato perturbado por la calibración de Zero
M	N	Dato errroneo por razón desconocida
D	N	Dato erroneo por fallo técnico
T	N	Dato que no ha sufrido el proceso de validacion
#	N	Datos insuficientes
B	N	Mal estado externo
E	N	Fallo eléctrico
F	N	Fallo en la corriente eléctrica
!	N	Señal fuera de rango
H	N	Valor de prueba
P	N	Proceso de purga del equipo

Se presentan en la figura 6 los criterios y algunos ejemplos de validación de datos. Los rangos de operación de los equipos se pueden observar en la sección 5.1.3.

- Rangos típicos de operación

Dato válido

date	PM10	Banderas	Qtot	wd	ws	RH	Tem
1/03/2019 0:00	29	V	0,64	52,3	2,3	66,4	14,4
1/03/2019 1:00	81	V	0,643	189,7	0,9	76,6	12,9
1/03/2019 2:00	129	V	0,645	177,4	0,7	79,4	12
1/03/2019 3:00	76	V	0,645	209,2	0,7	78,1	11,8

- Revisión de datos que se repiten de manera inusual

Dato erróneo por fallo técnico

date	PM10	Banderas	Qtot	wd	ws	RH	Tem
28/03/2019 10:00	163	D	0,64	276	1,5	62,5	15,8
28/03/2019 11:00	163	D	0,64	176,9	0,9	52,6	18,1
28/03/2019 12:00	163	D	0,64	157,8	1,5	47,5	19,8

- Valores negativos o cero

Valor bajo del equipo

date	PM10	Banderas	Qtot	wd	ws	RH	Tem
16/03/2019 18:00	0	_	0,633	135,2	4	70,5	16,3
16/03/2019 19:00	30	V	0,635	155,2	1,5	73,1	15,5
16/03/2019 20:00	55	V	0,636	185,1	0,9	72,6	15,4

- Reporte con unidades erróneas

Valor alto del equipo

date	PM10	Banderas	Qtot	wd	ws	RH	Tem
12/03/2019 4:00	566	^	0,638	255,4	0,9	78,1	14,1
12/03/2019 5:00	65	V	0,638	240	0,7	78,8	14,1
12/03/2019 6:00	53	V	0,639	221,8	1	78,6	14

Figura 6. Ejemplos de validación de datos

El procedimiento se realiza de manera automática a través de un sofware, o manual como se mostró anteriormente con la herramienta Excel. Ejemplos tomados del equipo Bam1020 para medición de PM_{10}.

Base de datos

Se recomienda el uso de una base de datos en función a los parámetros medidos por el SVCAUD, donde esté estipulado el contaminante, fecha hora, bandera de validación, y parámetros meteorologicos.

Representatividad temporal

Es el indicador que evalúa el porcentaje de datos válidos para un periodo de tiempo determinado según los reportes del SVCA, el protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, indica que para hallar el promedio de concentración o media móvil se debe contar como mínimo con el 75% de los datos válidos, de lo contrario si la pérdida de información corresponde a un monto mayor al 25%, dichos datos no son permitidos para reportar y comparar con la normativa. En la tabla 14 se muestra un ejemplo del procedimiento que se realiza para la representatividad temporal.

Para el cálculo de la cantidad real de datos (ecuación 5), es importante eliminar los datos invalidados mediante el anterior procedimiento, se realiza contabilizando las celdas vacías (aplica para cada uno de los parámetros dados por el equipo).

$$\frac{cantidad\ real\ de\ datos}{cantidad\ teórica} * 100$$

Ecuación 5. Cantidad real de datos

Tabla 14.
Representatividad temporal

date	PM10	Banderas	Qtot	wd	ws	RH	Tem	Representatividad
1/03/2019 0:00	29	V	0,64	52,3	2,3	66,4	14,4	100%
1/03/2019 1:00	81	V	0,643	189,7	0,9	76,6	12,9	
1/03/2019 2:00	129	V	0,645	177,4	0,7	79,4	12	
1/03/2019 3:00	76	V	0,645	209,2	0,7	78,1	11,8	
1/03/2019 4:00	61	V	0,642	224,2	0,8	77	12	
1/03/2019 5:00	62	V	0,643	230,8	0,7	76,7	12,1	
1/03/2019 6:00	69	V	0,644	239,1	0,9	77,8	12	
1/03/2019 7:00	114	V	0,644	181,3	0,4	78,1	12,1	
1/03/2019 8:00	104	V	0,642	218,9	0,9	74,6	13	
1/03/2019 9:00	92	V	0,64	251	1,2	69,9	14,4	
1/03/2019 10:00	87	V	0,634	64,4	1,8	56,8	17,1	
1/03/2019 11:00	101	V	0,635	103,1	1,8	56,8	17,4	
1/03/2019 12:00	61	V	0,63	97,1	1,6	49,5	19,2	
1/03/2019 13:00	63	V	0,626	65,3	1,8	44	20,8	
1/03/2019 14:00	94	V	0,626	164	2,9	51,6	20,7	
1/03/2019 15:00	86	V	0,625	143,7	4	55,2	20,5	
1/03/2019 16:00	62	V	0,627	161,8	4,5	60,1	19,5	
1/03/2019 17:00	64	V	0,627	151,9	3,2	60	19,5	
1/03/2019 18:00	52	V	0,632	142,4	3,1	67,6	17,7	
1/03/2019 19:00	38	V	0,634	338	2,8	64,2	16,5	
1/03/2019 20:00	46	V	0,637	358,5	1,9	64,8	15,7	
1/03/2019 21:00	59	V	0,637	279,3	1,2	66	15,5	
1/03/2019 22:00	91	V	0,637	348,1	1,6	68,7	15,5	
1/03/2019 23:00	85	V	0,639	179,8	0,6	71,7	14,9	

% captura 1/03/2019				
PM10	WD	WS	RH	Tem
100%	100%	100%	100%	100%

5.3 FASE III. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA

El tratamiento estadístico de los datos se realiza una vez se culmine su validación y se compruebe su confiabilidad. Se debe tener en cuenta que el porcentaje de la pérdida de información no supere el 25% ya que dichos datos no pueden ingresar a las hojas de cálculo.

5.3.1 Promedio aritmético

Es el valor medio que resulta de dividir la suma de todos los valores entre el número de éstos. Es un indicador que determina el cumplimiento de los límites anuales de partículas de PM_{10} y Ozono. Para las partículas de PM_{10} la norma anual se evalúa con el promedio aritmético de las concentraciones diarias y para Ozono con el promedio aritmético de las concentraciones horarias

(INE, 2009). La ecuación 2 es tomada de manual de operación del protocolo para la calidad del aire:

$$(C_{prom})_j = \frac{\sum_{i=1}^{n} C_i}{n} \quad Para\ i = 1, 2, 3, \ldots, n;$$

Ecuación 6. Promedio aritmético. Fuente. (MAVDT, Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, 2010)

$(C_{prom})_j$: Concentración promedio del período de tiempo j.

$\sum_{i=1}^{n} C_i$: Suma de los "n" datos de concentración del contaminante i obtenida en el período de tiempo j.

n: Cantidad de datos obtenidos en el período de tiempo j.

Como ejemplo, se tomaron los datos de marzo de 2019 del equipo BAM 1020 de la sede Porvenir para material particulado PM_{10} que se encuentran adjuntos en el anexo I y que serán utilizados igualmente para los demás ejemplos de esta fase. El procedimiento se realizó aplicando la ecuación 6 obteniendo como media móvil para el mes de marzo una concentración de 64,26 $\mu g/m^3$ de PM_{10}, a continuación, se muestra un ejemplo de la operación:

$$(C_{prom})_j = \frac{28{,}7+81{,}2+128{,}58+75{,}59+61{,}42+61{,}91+69{,}24+\cdots+31{,}87}{670} = \frac{43053}{670} = 64{,}26\ \mu g/m^3$$

5.3.2 Varianza

El manual 5 sobre el protocolo de manejo de datos de la calidad del aire del Instituto Nacional de Ecología de México, expresa que la varianza de un conjunto de datos representa qué tanto se alejan en promedio las observaciones de un valor fijo (alguna medida de tendencia central, usualmente la media aritmética). Se define como la suma de los cuadrados de las desviaciones respecto a la media (se llama desviación respecto a la media a la diferencia entre cada valor de la variable y la media) dividida entre el número de datos menos 1. La varianza de la muestra es afectada por valores extremos y por datos censurados. Esta medida hereda las unidades de medición de los datos al cuadrado. Su expresión matemática está dada por:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_j - \bar{x})^2}{n-1}$$

Ecuación 7. Varianza

Continuando con el ejemplo, se aplicaron los datos según la ecuación 7 obteniendo como resultado una varianza de 746,7 $\mu g/m^{3^2}$, indicando que los datos son dispersos y cuyo valor será de utilidad para calcular la desviación estándar.

$$s^2 = \frac{(28{,}67-64{,}26)^2+(81{,}2-64{,}26)^2+(128{,}58-64{,}26)^2+(75{,}59-64{,}26)^2+\cdots+(31{,}87-64{,}26)^2}{670-1} = 746{,}7\mu g/m^{3^2}$$

5.3.3 Desviación estándar

Este cálculo se realiza para analizar la dispersión que tienen los conjuntos de datos de la concentración. Si el resultado de la desviación estándar es mayor, mayor es la dispersión de los datos con respecto a la media. La desviación estándar de un conjunto de datos se define como la raíz cuadrada de la varianza y conserva las mismas unidades de medición de los datos originales, esto es:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_j - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Ecuación 8. Desviación estándar

Aplicando la ecuación 8, se obtiene una desviación estándar de 27,33 $\mu g/m^3$, lo que significa que la mayoría de los datos del mes de marzo se encuentran por encima o por debajo 27,33 $\mu g/m^3$ del promedio aritmético que es de 64,26 $\mu g/m^3$.

$S = \sqrt{746{,}97} = 27{,}33\ \mu g/m^3$

5.3.4 Coeficiente de variación

El coeficiente de variación es una medida relativa que no depende de las unidades originales de los datos y permite comparar la variabilidad de varios conjuntos de datos diferentes. Mientras más grande, más variables son los datos. Se define como el número de veces que cabe la media en la desviación estándar. Es decir, qué tan grande es la desviación estándar en relación a la media.

$$\boxed{CV = \frac{s}{\bar{x}}}$$

Ecuación 9. Coeficiente de variación

El coeficiente de variación al dar un resultado de 0,43 está indicando la proporción del valor de la desviación estándar con respecto al valor de la media, esto quiere decir que la desviación estándar es el 43% del tamaño de la media. Igualmente es de utilidad realizar este cálculo para conocer la dispersión de los diferentes meses del año y así poder realizar su respectiva comparación.

$$CV = \frac{27{,}33}{64{,}26} = 0{,}43$$

5.3.5 Concentración máxima y mínima por hora

Se toma el valor máximo y mínimo para cada una de las horas del día contemplando la información disponible de todo el año para cada estación de vigilancia. Es importante mencionar que la concentración máxima y mínima por hora debe reportarse para cada día, usando solamente la información validada durante ese día.

Para el mes tomado como ejemplo el valor máximo es de 190,36µg/m^3, capturado el día 4 de marzo de 2019 a las 7:00pm, por el contrario, para el valor mínimo se registró una concentración de 5,74 µg/m^3, capturado el día 21 de marzo de 2019 a las 11:00am. Este procedimiento se realizó organizando todos los datos del mes de menor a mayor.

5.3.6 Estimación de la media móvil

Para el cálculo de la media móvil, se va a tomar como ejemplo los datos de la concentración de PM_{10} capturados el 04 de marzo, cogiendo un conjunto de datos de 24 horas, utilizado la ecuación del promedio aritmético como se muestra en el siguiente ejemplo.

$$\bar{X}\text{Móvil} = \frac{83{,}4+172{,}53+47{,}01+89{,}75+27{,}23+63{,}86+106{,}11+89{,}26+103{,}67+\cdots+56{,}05}{22} = \frac{1812{,}57}{22} = 82{,}39\ \mu g/m^3$$

El propósito de la media móvil es suavizar las fluctuaciones de las series de datos. Cabe resaltar que los datos de la media móvil ya se encuentran en condiciones estándar a excepción del equipo AQM60 en donde se le debe aplicar la ecuación 1 para la corrección del caudal y así poderla comparar con la norma nacional vigente.

Para el caso del ozono troposférico, los resultados de la medición se generan minutalmente, lo cual deben ser promediados a datos horarios empleando la media aritmética y luego se procede a calcular la media móvil para grupos de 8 datos horarios. Para el caso del Black Carbon y partículas ultra finas, se debe de mostrar los resultados horarios generados durante un día utilizando la formula del promedio aritmético de los valores minutales.

5.3.7 Cálculo del número de excedencias

Este cálculo se realiza para identificar los valores de concentración de un contaminante que sobrepase lo estipulado en la norma. Para ozono, se debe contar una excedencia por cada vez que el promedio de concentración de una hora sobrepase el valor establecido por la norma. Para realizar el análisis de excedencias en periodos anuales, se debe contar una sola excedencia por día para reportarse como el "número de veces que la norma ha sido sobrepasada en un determinado año".

Para el caso del PM_{10}, debe contarse una excedencia por cada vez que el promedio de concentración de 24 horas sobrepase el valor establecido por la norma y totalizar el número de veces por año. En la tabla 15 se muestra las concentraciones de 24 horas del mes de marzo en donde se puede identificar que presentó 6 excedencias ya que sobrepasa el límite máximo permisible que es de 75 $\mu g/m^3$ según lo establecido por la Resolución 2254 de 2017. Las casillas en blanco son

dejadas intencionalmente ya que no cumple con el porcentaje de numero de captura de datos del 75%.

Tabla 15.
Número de excedencias

Fecha	Concentración µg/m³
1/03/2019	**75,24**
2/03/2019	68,38
3/03/2019	53,98
4/03/2019	**82,39**
5/03/2019	67,69
6/03/2019	70,59
7/03/2019	**84,00**
8/03/2019	**83,17**
9/03/2019	61,05
10/03/2019	37,89
11/03/2019	39,44
12/03/2019	58,87
13/03/2019	71,37
14/03/2019	63,38
15/03/2019	70,07
16/03/2019	62,92
17/03/2019	52,18
18/03/2019	63,56
19/03/2019	60,59
20/03/2019	-
21/03/2019	59,56
22/03/2019	42,55
23/03/2019	50,18
24/03/2019	65,30
25/03/2019	69,25
26/03/2019	**87,86**
27/03/2019	**90,52**
28/03/2019	-
29/03/2019	-
30/03/2019	48,99
31/03/2019	46,61

5.3.8 Percentil

Los percentiles permiten caracterizar el comportamiento de un contaminante en un período de tiempo, así como la influencia de fenómenos temporales o regionales. Señala el valor del parámetro que acumula cierto porcentaje del total de datos. Después de ordenar un conjunto de datos (el cual puede ser de un mes, un año o un periodo de años) por su magnitud (de menor a mayor) se obtiene el porcentaje de datos menor o igual a cada valor (INE, 2009, p. 48). A continuacion se presente la ecuación utilizada para conocer la posición del dato:

$$\text{Posición} = \frac{K\,(n+1)}{100}$$

Ecuación 10. Posición

k: 1, 2, 3, …, 99

n: Suma de frecuencias absolutas de los datos validados

Para conocer el percentil 5 y 95 de los datos del mes de marzo se aplica la ecuación 10, donde una vez ordenados por su magnitud se busca la posición, que para el caso del percentil 5 el valor que tiene la posición 33 y 34 es de 27,23 y para el percentil 95 es de 111,73. Para estos dos casos no fue necesario realizar una interpolación ya que el valor siguiente de la posición era el mismo, de no ser así, se debe realizar la respectiva interpolación para conocer el resultado final.

$$P_5 = \frac{5*(671+1)}{100} = 33{,}6 \qquad P_{95} = \frac{95*(671+1)}{100} = 638{,}4$$

5.3.9 Representación gráfica de los indicadores de la calidad del aire

Para comunicar de manera sencilla los resultados obtenidos por las estaciones de monitoreo, se describen a continuación las gráficas que se utilizan para identificar patrones y tendencias de los datos de la calidad del aire.

Gráficas en el tiempo.

Con este tipo de gráficas es posible visualizar el comportamiento (o patrón) del fenómeno de interés a lo largo del tiempo. Además, permite visualizar periodos con datos faltantes, valores fuera de rango y problemas de equipo (datos contantes, entre otros) (SEA, 2012).

Se muestra en la figura 7 una gráfica con la serie de tiempo de la concentración de PM_{10} horario, donde se puede identificar fácilmente las tendencias de corta y larga escala respecto a los días, mostrando una mayor fluctuación horaria los primeros 5 días del mes.

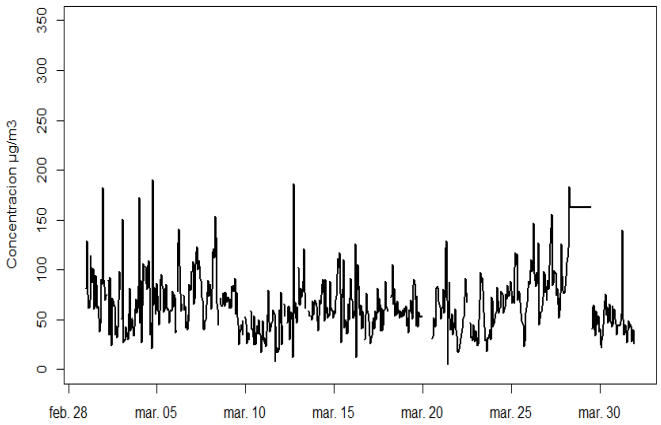


Figura 7. Gráfica en el tiempo. Fuente. Laboratorio de calidad del aire.

Para el segundo ejemplo, en la figura 8 se muestra un histograma con los límites máximos permisibles de la norma nacional vigente (Resolución 2254 de 2017) que es de 75µg/m^3 y de la OMS que es de 50µg/m^3 para la concentración de PM_{10} y el promedio de las concentraciones de PM_{10} de 24 horas en la estación Porvenir para el mes de septiembre. Con este tipo de grafica se puede realizar el conteo del número de excedencias, el cual sería de 8.

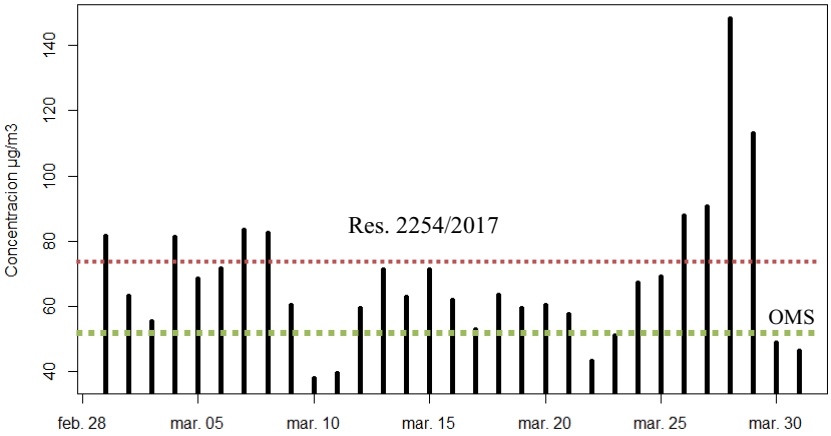


Figura 8. Histograma. Fuente. Laboratorio de calidad del aire.

Grafica de cajas.

Con este tipo de gráficas es posible determinar visualmente un resumen muy completo de la distribución de los datos debido a que proporciona las estadísticas de orden de la variable de interés además de varios indicadores como el percentil 25, 75, el intervalo inter cuantil, la variabilidad fuera de los cuartiles superior e interior (bigotes), el promedio, la mediana y valores atípicos.

Como ejemplo, en la figura 9 se muestra un diagrama de caja y bigotes de las concentraciones horarias de PM_{10} en el mes de marzo. Las cajas vienen definidas por los percentiles 75 y 25, los bigotes macan el valor más bajo y más alto de PM_{10} dentro de los valores típicos, y la línea azul el valor medio de las concentraciones. En el gráfico también se observa los valores atípicos que son representados como puntos fuera de los bigotes.

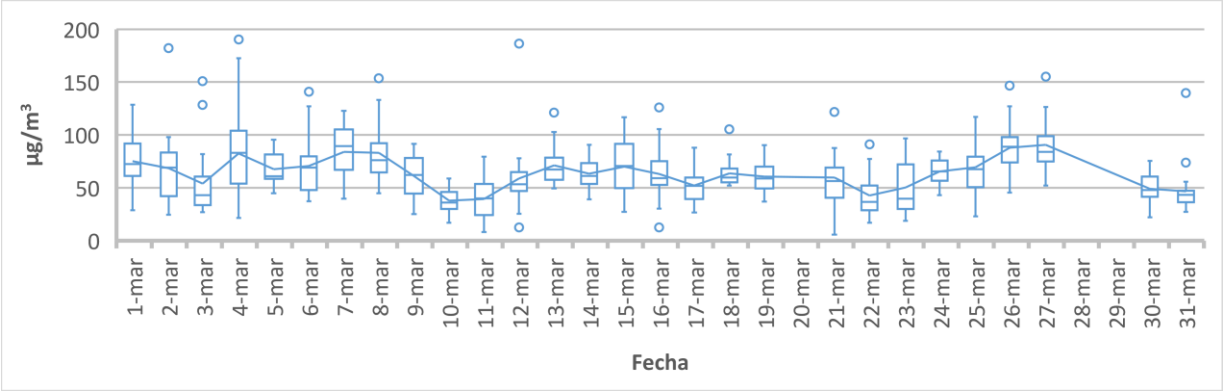
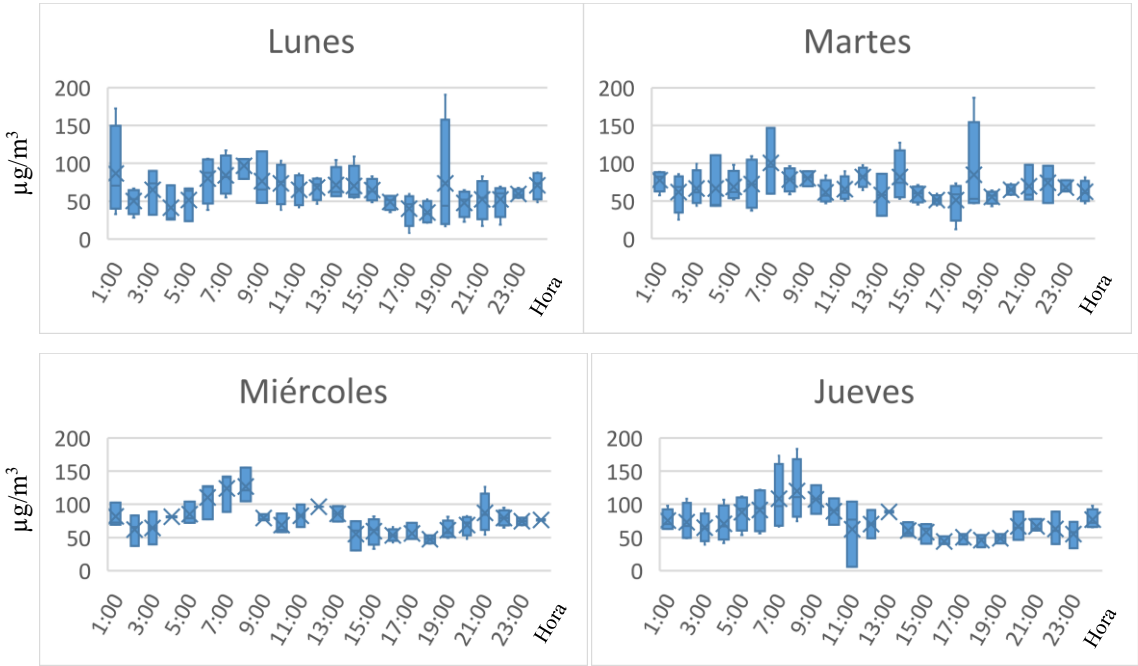


Figura 9. Grafica de cajas.

En la figura 10 se muestra unos gráficos de caja y bigotes que enseña el comportamiento semanal durante el mes de marzo de PM_{10} según la hora del día, donde se puede identificar que el día de mayor concentración son los lunes. Igualmente, se puede comparar cuales son las horas que presentan mayores dispersiones distinguiéndose por la longitud de la caja.



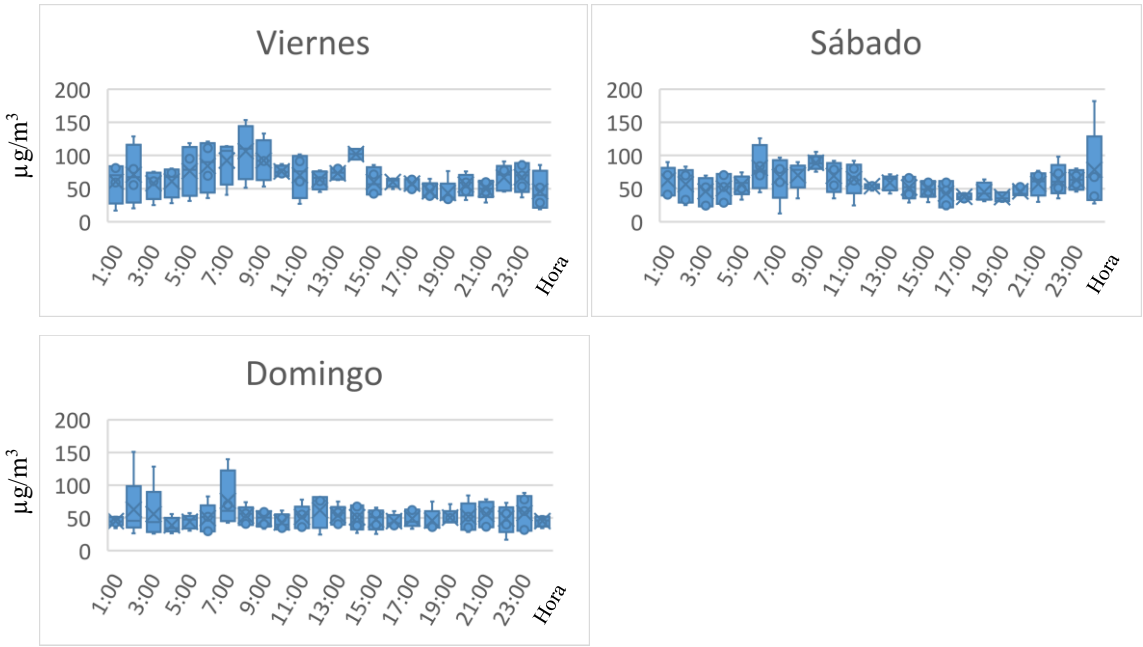


Figura 10. Caja y bigotes semanal.

Grafica de dispersión

Este tipo de gráficas muestra la temporalidad que hay entre dos variables y los datos extremos. En una gráfica de dispersión, si las variables están altamente correlacionadas los pares de datos se agrupan de forma compacta a lo largo de una línea. Adicionalmente, en una gráfica de este tipo se pueden observar muy fácilmente patrones no lineales y agrupaciones de puntos. La gráfica se obtiene al graficar los pares de puntos de las variables X y Y.

En la figura 11 se muestra una gráfica de dispersión entre las variables ozono y temperatura, en donde se puede analizar que a una mayor temperatura hay mayor concentración de ozono, esto es debido a que el ozono se crea a partir de las reacciones de la luz solar y radiación ultravioleta con los óxidos de nitrógeno que se producen por altas temperaturas generadas por industrias y el tráfico (UPO, s.f.). Este tipo de gráficas también se debe realizar para precipitación y concentraciones de PM_{10}.

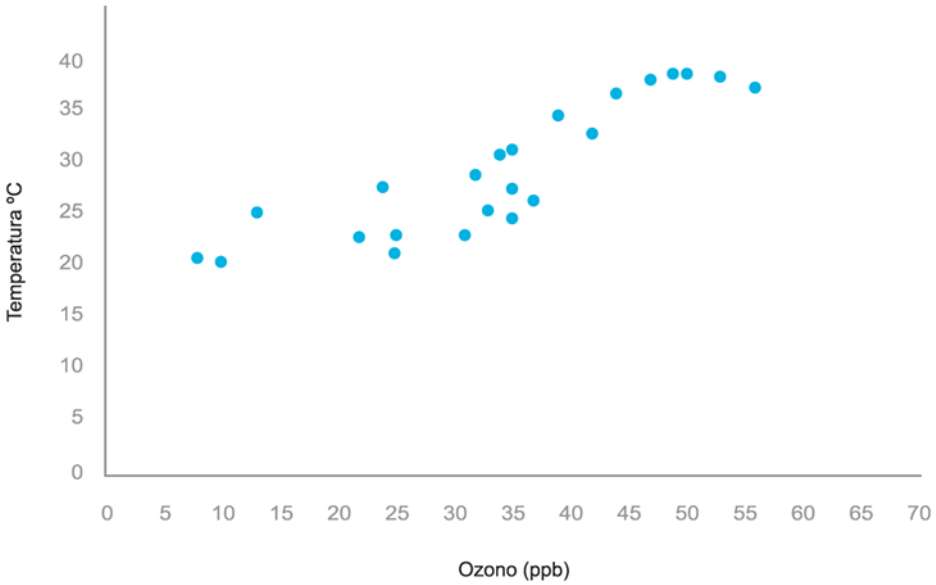


Figura 11. Grafica de dispersión. Fuente. INE, Manual 5. Protocolo de Manejo de Datos de la Calidad del Aire, 2009

Gráfico de eje dual

Para ilustrar de forma clara la correlación de dos variables que tienen diferentes magnitudes y escalas de mediación, se emplea un gráfico que utiliza dos ejes (infogram, s.f.). En la figura 12 se tomaron como ejemplo la concentración de PM_{10} y la temperatura para realizar la correlación, evidenciando que el comportamiento de PM_{10} en algunos días, se encuentra influenciado por la temperatura, como lo indica el día 15 de marzo en el que al aumentar la concentración la temperatura también aumenta. Por el contrario, el día 17 de marzo se puede evidenciar un comportamiento diferente, en el que la temperatura aumenta, pero la concentración disminuye, esto es debido a que tanto la temperatura como la humedad relativa son factores que no inciden con el PM_{10} y por lo tanto se evidencia fluctuaciones en la gráfica.

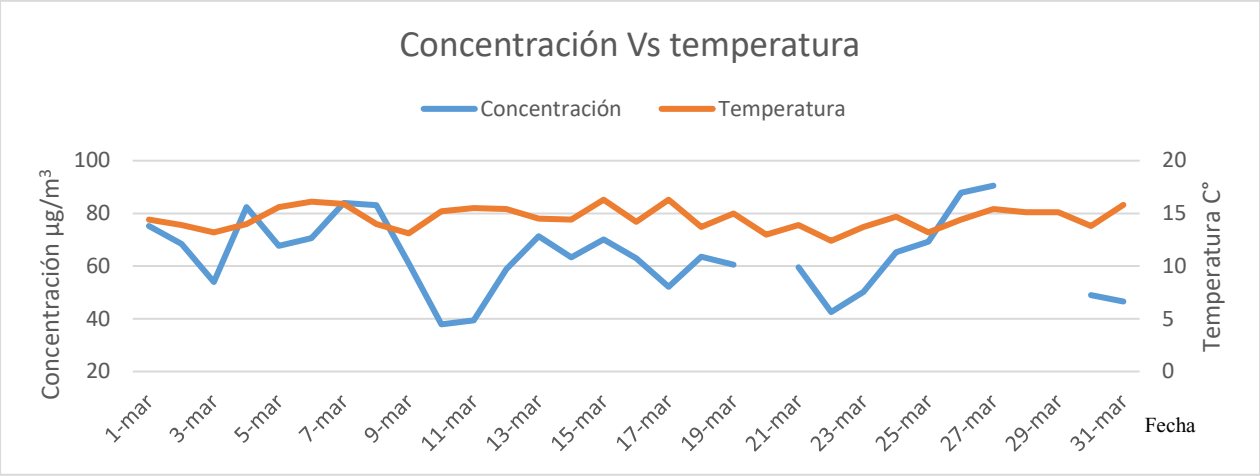


Figura 12. Gráfico de eje dual

Índice de la calidad del aire

El Índice de Calidad del Aire (ICA) permite comparar los niveles de contaminación de calidad del aire, de las estaciones que pertenecen a un SVCA. El ICA representa mediante un indicador de color, el estado de la calidad del aire de acuerdo a la concentración del contaminante y su posible afectación a la salud (Tabla 1). Es un indicador de la calidad del aire diaria y para calcularlo se emplea la siguiente ecuación:

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

Ecuación 11. ICA

Dónde:

I_p: Índice para el contaminante p.
C_p: Concentración medida para el contaminante p.
BP_{Hi}: Punto de corte mayor o igual a CP.
BP_{Lo}: Punto de corte menor o igual a CP.
I_{Hi}: Valor del Índice de Calidad del Aire correspondiente al BPHi.
I_{Lo}: Valor del Índice de Calidad del Aire correspondiente al BPLo.

A manera de ejemplo, la figura 13 y 14 ilustran los índices de calidad del aire obtenidos en la estación de monitoreo de PM_{10} en Porvenir presentados en forma de dispersión y el calendario respectivamente. En la figura 13 se puede observar la dispersión de los datos del ICA durante el mes de marzo y el rango en el que se encuentran. Por otra parte, la figura 14 cuenta con una barra lateral derecha que indica los rangos y la escala de colores, encontrándose en el interior de cada día el color correspondiente en ICA.

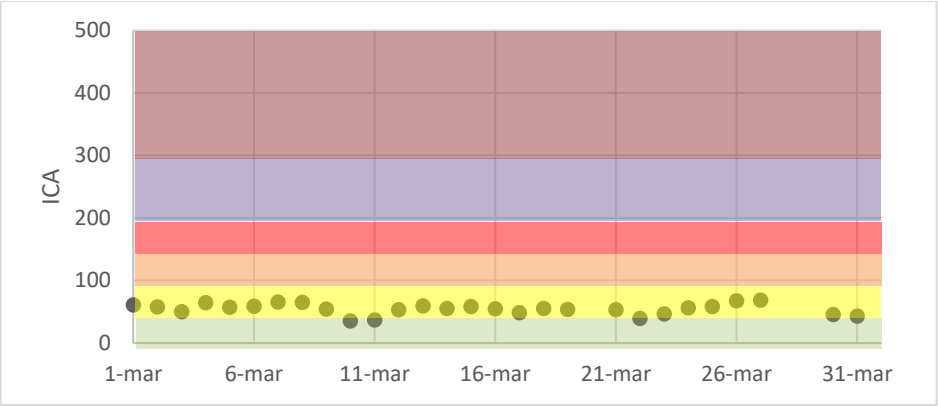


Figura 13. Gráfica de dispersión ICA.

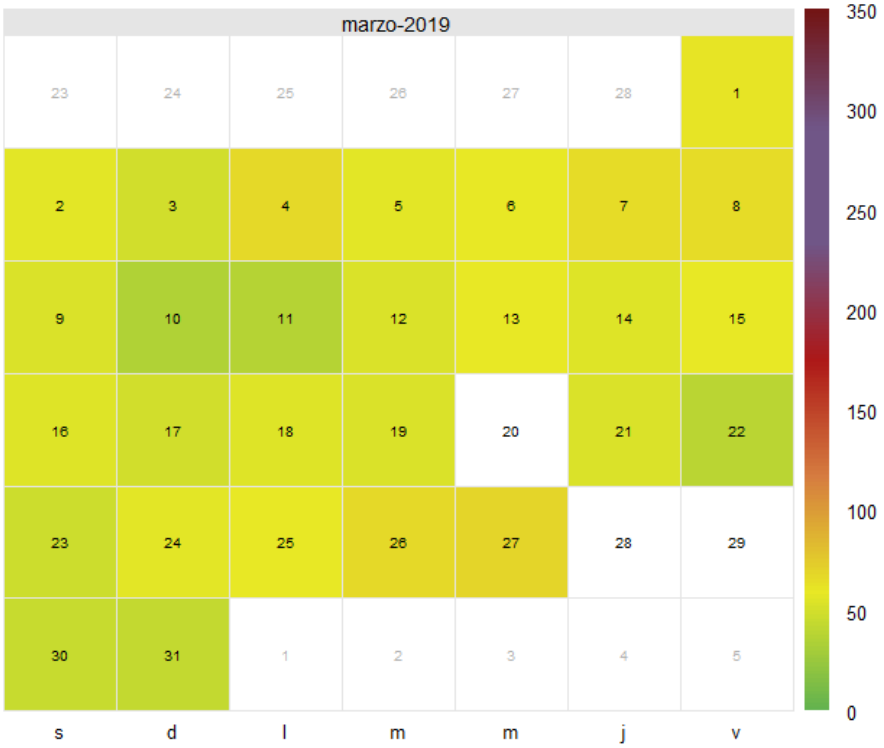


Figura 14. Calendario ICA Mensual. Fuente. Laboratorio de Calidad del aire

Rosa de vientos

La rosa de vientos es una herramienta que permite evidenciar el comportamiento del viento respecto a la velocidad y la dirección así mismo permite realizar análisis de dispersión de contaminantes y dirección predominante del viento (ingenieria, 2017).

Como ejemplo en la figura 15 se presenta una rosa de vientos que muestra una dirección predominante y mayor velocidad del viento al noroeste, presentando una frecuencia aproximada de 12%. Igualmente presenta valores importantes de frecuencia en la dirección suroeste. Con lo anterior se puede analizar que si las direcciones predominantes del viento provienen del mismo lugar donde se generan emisiones significativas, existe la posibilidad de que los contaminantes emitidos por esas fuentes sean transportados hasta la estación de monitoreo receptora.

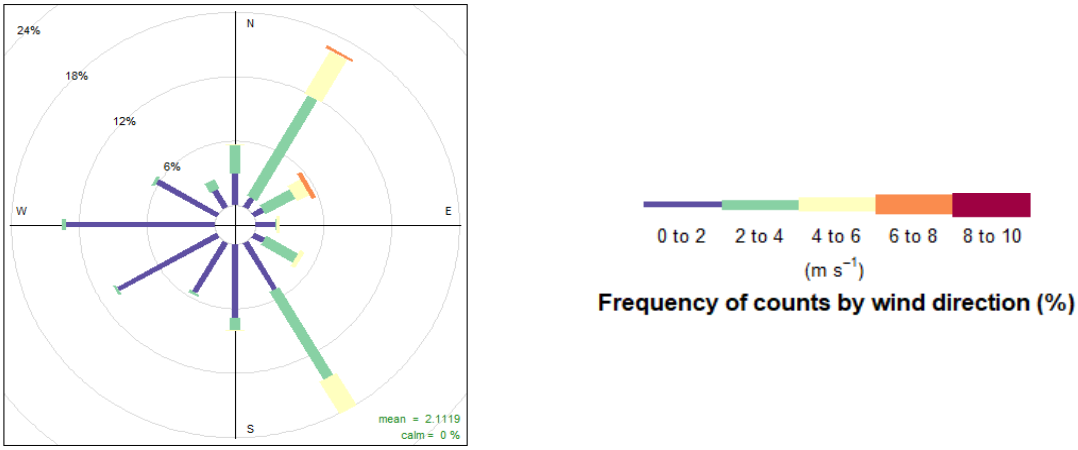


Figura 15. Rosa de los vientos. Fuente. Laboratorio de Calidad del aire

Rosa de contaminación

Una rosa de contaminación es una gráfica representada por la dirección y velocidad del viento de donde provienen los contaminantes en una estación de calidad del aire, esta rosa de contaminación describe los niveles de concentración y de donde proviene (ingenieria, 2017).

Se demuestra en la figura 16 que los vientos tienen mayor predominancia hacia el noreste y sureste, presentando concentraciones medias de PM_{10} hasta de 110 $\mu g/m^3$. Igualmente, en la dirección sureste se presentaron valores de la concentración media que sobrepasa el valor máximo permisible que es de 75 $\mu g/m^3$. Por otra parte, se puede observar que las mayores concentraciones se perciben cuando hay una menor velocidad del viento.

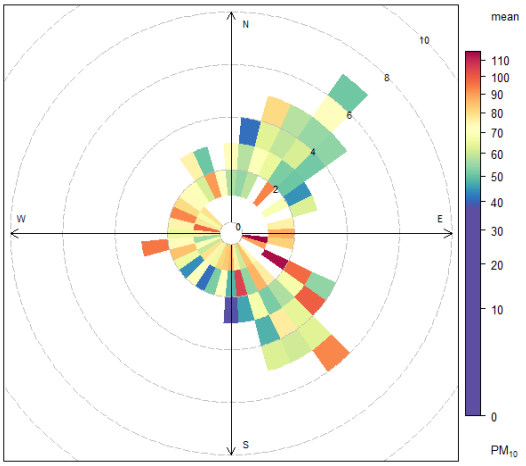


Figura 16. Rosa de contaminación. Fuente. Laboratorio de Calidad del aire

Gráfico polar

Es un gráfico de línea trazado de forma circular, el cual muestra las tendencias de los valores de datos por medio de ángulos, se utiliza para visualizar variables que varían en función de velocidad y dirección del viento (Corpoboyacá, 2019).

En la figura 17 se presenta la gráfica polar, evidenciando que las concentraciones medias más altas de PM_{10} provienen fundamentalmente del sureste con velocidades de viento entre 2m/s y 6m/s, lo cual podría sugerir un transporte de alto alcance. En contraste, las menores concentraciones provienen del suroeste.

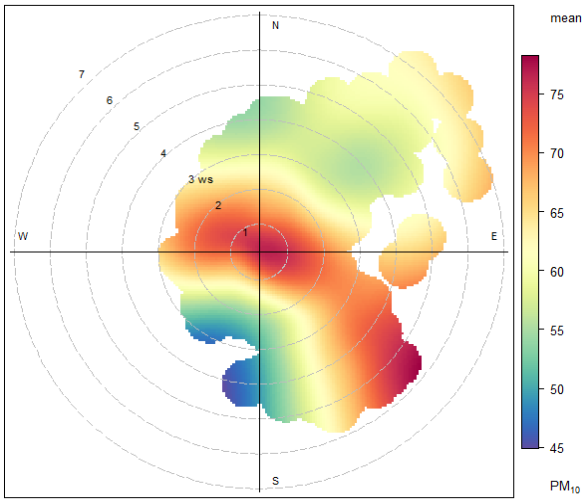


Figura 17. Gráfico polar. Fuente. Laboratorio de Calidad del aire

Grafica en escala de colores

Este tipo de gráfica proporciona una manera muy práctica y visual de condensar grandes bloques de datos de calidad del aire en una sola gráfica en la que además se puede comprobar cómo evolucionan las tendencias globales, diarias e incluso estacionales para los distintos contaminantes (Portal, 2018).

En el ejemplo que se muestra en la figura 18 se tiene una gráfica que presenta la temperatura ambiente registrada en la estación Porvenir. La gráfica muestra los días de la semana contra las horas del día durante el mes de marzo, y al costado derecho se encuentra una barra que indica la temperatura que tuvieron dichos días durante las 24 horas.

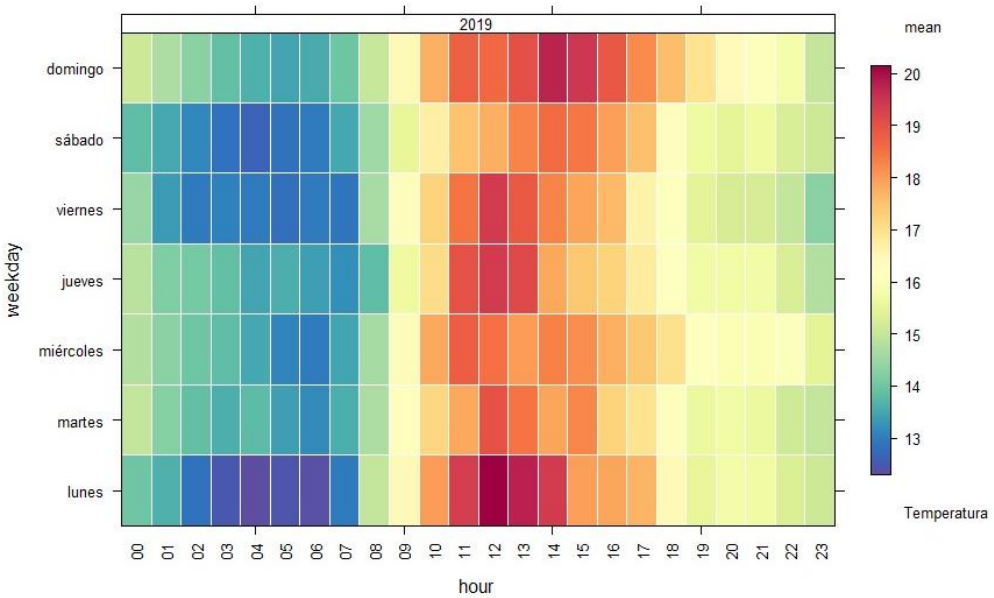


Figura 18. Gráfica en escala de colores. Fuente. Laboratorio de calidad del aire

5.4 FASE V. REPORTE DE DATOS

Para el reporte semanal, mensual, trimestral y anual se diseñaron unos formatos los cuales permiten conocer a corto y largo plazo el estado de la calidad del aire de manera indicativa en las diferentes sedes de la Universidad Distrital. Igualmente se incluye una sección donde se presenta el comportamiento meteorológico de cada estación de monitoreo que es de importancia para el análisis de la calidad del aire. En la figura 19 se muestra la página web del laboratorio de calidad

del aire de la Universidad Distrital evidenciando las publicaciones que se han hecho de los informes mensuales del SVCAUD durante todo el año 2019.

Figura 19. Página web del laboratorio de calidad del aire Universidad Distrital.

En la tabla 16 se encuentra el contenido de los formatos que recomienda el protocolo del manual de operaciones aplicado para la universidad y los objetivos fundamentales propuestos para

cada uno. Cabe resaltar que el informe semanal se ejecuta cuando se presenten únicamente episodios de emergencia y el formato del informe trimestral es elaborado para futuros reportes ya que el SVCAUD no cuenta con el personal suficiente para la elaboración de este tipo de informe que se caracteriza por ser extenso.

Tabla 16.
Contenido de los informes

Semanal	Mensual	Trimestral	Anual
1. Ubicación de las estaciones 2.Contaminantes monitoreados 3.Porcentaje de datos obtenidos 4. Desviación estándar 5. Media 6. Percentil 95 y 5. 7. Mínimo y máximo 8. Gráfica de índice de la calidad del aire y clasificación 9. Concentración horaria del contaminante. 10. Rosa de vientos	1. Contaminantes evaluados 2. Ubicación de las estaciones 3. Graficas de evolución diaria de contaminación. 4. Análisis de datos atípicos 5. Comparación con la norma 6. ICA para cada estación 8. Particularidades del periodo. 9. Graficas de comportamiento meteorológico mensual (temperatura, precipitación, humedad y la rosa de vientos).	1. Introducción 2. Objetivos del estudio 3. Ubicación y tecnología de las estaciones 4.Contaminantes evaluados. 5. Comparación con la norma. 6. Resultados estadísticos. 7. Graficas de evolución diaria, semanal y horaria de contaminación 8. ICA para cada estación. 9. Análisis datos atípicos 10. Particularidades del periodo. 11. Graficas de comportamiento meteorológico trimestral (temperatura, precipitación, humedad y la rosa de vientos).	1. Introducción 2. Objetivos 3. Descripción del sistema de vigilancia, condiciones ambientales, ubicación geográfica, tecnologías empleadas. 4. Marco normativo 5. ICA, puntos de corte y ecuación 6. Análisis del porcentaje de captura de datos 7. Promedio anual por estación de monitoreo 8. Resultados por estación de monitoreo donde incluya: concentraciones horarias, concentración media 24 horas, variación temporal, Análisis del comportamiento anual del ICA para cada estación, meteorología, rosa de los vientos. 9. Referencias bibliográficas 10. Conclusiones 11. Anexos
El objetivo principal de la realización de este informe es mostrar el comportamiento de las concentraciones basados en situaciones específicas.	El objetivo principal de la realización de este informe es mostrar los comportamientos del contaminante enfocados en las áreas de impacto.	El objetivo principal de la realización de este informe es mostrar la variabilidad de la concentración teniendo en cuenta el comportamiento meteorológico.	El objetivo principal de la realización de este informe es mostrar las tendencias de las concentraciones según el comportamiento que ha tenido durante el año.

A continuación, por medio de la tabla 17 se muestra el cumplimiento que tiene cada reporte con los objetivos del sistema de vigilancia que según el protocolo son los que se describen en los siguientes ítems:

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

Tabla 17.
Objetivos del Sistema de Vigilancia

	Objetivos del sistema de vigilancia								
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
Semanal	X								
Mensual	X				X				X
Trimestral	NO APLICA								
Anual	X	X	X		X				X

En las secciones 5.4.1, 5.4.2, 5.4.3 y 5.4.4 se presentan las especificaciones de los formatos propuestos para los informes semanal, mensual, trimestral y anual que están compuestos por 3 etapas, la primera es la descripción que orienta al lector sobre la ubicación de los equipos, el tipo de muestreador que utiliza y qué contaminantes mide. La segunda es la validación que es la etapa fundamental, ya que allí se evidencia si los datos utilizados para los informes cumplen con el criterio de suficiencia del 75%, de no ser así, dichos datos no podrían ser utilizados para su análisis, perdiendo validez el informe. Por último, está la comparación y el análisis, en esta etapa se presentan los resultados obtenidos sobre las concentraciones de los contaminantes y las variables meteorológicas, utilizando diferentes representaciones graficas de acuerdo a lo que se quiera mostrar. Cada una de estas etapas están compuestas por unos capítulos que se clasifican según el tipo de análisis que se desea enseñar dependiendo del informe. En la tabla 18 aparece el contenido de los informes por cada estación de acuerdo al contaminante y parámetros meteorológicos que mide, además de la frecuencia en que el equipo captura los datos que llegan directamente al servidor.

Tabla 18.
Contenido de los informes por estación

	Contaminante				**Variables meteorológicas**							**Captura de datos**	
Estación	PM_{10}	O_3	UF	BC	Rad	Tem	H.R	V.V	D.V	P	Prec	Hora	Min
Porvenir	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Macarena	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
ASAB	✓					✓	✓	✓	✓				✓
Tecnológica	✓					✓	✓	✓	✓				✓
Vivero	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Paiba		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓

Material particulado menor a 10 micras PM_{10}, Ozono O_3, partículas ultra finas UF, Carbón Negro BC, radiación rad., temperatura Tem., humedad relativa HR, velocidad del viento V.V, dirección del viento D.V, presión P, Precipitación Prec.

5.4.1 Especificaciones del informe semanal

El reporte se realiza de forma concreta y corta, de estructura visual atractivo, busca mostrar el comportamiento de las concentraciones basados en situaciones específicas, que han sucedido dentro de la semana evaluada, o por alguna eventualidad, el formato y ejemplo del reporte semanal se encuentra en el anexo II. Se tuvo en cuenta las siguientes etapas presentadas en la tabla 19.

Tabla 19.
Especificación del informe semanal

Etapas	Capítulos	Descripción
Descripción	Descripción de la estación de monitoreo.	Incluye el o los contaminantes evaluados, área donde se ubica la estación, tipo de muestreador utilizado.
	Ubicación de la estación	Mapa donde se ubique la localización de la estación de monitoreo
Validación	Análisis estadístico	Análisis de los valores horarios donde se muestre el porcentaje de captura de datos, desviación estándar, media, percentil 95 y 5, mínimo y máximo.
Comparación y análisis	Índice de calidad del aire	Grafica o tabla con el índice de calidad del aire según su clasificación con los colores correspondientes.
	Concentración horaria del contaminante	Grafica del comportamiento horario del contaminante evaluado, donde se represente los valores más altos obtenidos.
	Rosa de vientos	Análisis de la procedencia de los vientos que influyen en las concentraciones del contaminante y su dirección predominante durante la semana evaluada

5.4.2 Especificaciones del informe mensual

El informe mensual se estructura con el propósito de mostrar el comportamiento del contaminante según el área de impacto. En el anexo III se encuentra la plantilla junto con el ejemplo para este tipo de informe, elaborándose una nueva plantilla por cada estación. En la tabla 20 se abarca todo el contenido que debe llevar el informe mensual.

Tabla 20.
Especificación del informe mensual

Etapas	Capítulos	Descripción
Descripción	Características de las estaciones	Se presenta una tabla con el nombre y la imagen correspondiente de cada estación, incluyendo los contaminantes evaluados.
	Localización de las estaciones	Se muestra el mapa de Bogotá señalar la ubicación de las sedes de la universidad que cuentan con equipos de calidad del aire, con el objetivo de orientar al lector en cuanto a la localización de las estaciones. Igualmente, debe contar con una tabla que contenga el nombre de la estación, la localidad en donde se encuentra ubicada y la dirección del lugar.
	Tipo de zona en las estaciones de monitoreo	Se realiza una tabla que contenga el tipo de zona en la que se encuentra la estación y el tipo de área. Además, en un párrafo se debe describir cuales son las vías principales cercanas a la estación del que se presentará el informe, los tipos de industrias, tipo de los establecimientos comerciales y otras áreas las cuales sean consideradas como focos de emisión.
	Descripción especifica de la estación a analizar	Se detalla sobre información predominante de la estación, tal como dirección dominante del viento, el equipo que utiliza para medir el contaminante y las condiciones meteorológicas, y si es manual o automático, entre otras.
Validación	Análisis estadístico para los valores horarios	Se elaborar una tabla que contenga información estadística del contaminante medido en $\mu g/m^3$, la dirección del viento, velocidad del viento en m/s, precipitación, Humedad relativa en porcentaje (%) y temperatura ambiente en grados Celsius. La información estadística debe contar con el porcentaje de la captura de datos, la media móvil, desviación estándar, coeficiente de variación, el máximo y mínimo, percentil 95 y el percentil 5.
Comparación y análisis	Comportamiento de los promedios horarios del contaminante	Se muestra el comportamiento de los promedios horarios del contaminante por medio de una gráfica de tiempo tipo línea con todos los datos recolectados durante el mes de análisis.
	Distribución de los datos horarios de la concentración del contaminante	Se elabora una gráfica de caja y bigotes para presentar la distribución de los datos horarios de la concentración de acuerdo al contaminante a analizar, con el propósito de indicar la dispersión de los datos, además de mostrar la mediana, datos atípicos y la línea media.
	Concentración promedio del contaminante para 24H u 8H	Se presenta una gráfica de tiempo tipo histograma con los datos de la media móvil de 24 horas del contaminante a analizar. Además, se ubican los límites máximos permisibles de la norma nacional vigente y de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para identificar el número de excedencias.
	Índice de la calidad del aire ICA	Se ubica el calendario ICA, dentro de cada casilla se mostrará el color correspondiente del ICA que pertenezca a cada día. Se realiza una tabla con todas las categorías del ICA con su respectivo rango y color.
	Análisis meteorológico	Se muestra la rosa de vientos y la rosa de contaminación. Además, en gráficas de eje dual se presenta el comportamiento de la temperatura, la humedad y la precipitación durante el mes junto con los datos de la concentración del contaminante.

5.4.3 Especificaciones del informe trimestral

Este tipo de informe se encuentra más estructurado que el semanal y el mensual, debe contar con una introducción que describa el SVCAUD, las condiciones de captura de la información para su representatividad y los resultados a manera general. También incluye objetivos que se adaptan a los especificados en el protocolo de diseño, conclusiones y anexos. La plantilla elaborada para este informe se encuentra en el anexo IV, en las etapas de descripción y validación se muestra la información en conjunto de todas las estaciones, para la etapa de comparación y análisis, por cada capítulo se presenta el resultado obtenido de cada estación, especificando su nombre y el contaminante o criterio meteorológico analizado. En la tabla 21 se encuentran las especificaciones puntuales que contiene el informe trimestral.

Tabla 21.
Especificación del informe trimestral

Etapas	Capítulos	Descripción
Descripción	Localización de las estaciones	Se muestra una tabla que contenga el nombre de la estación, la localidad en donde se encuentra ubicada y la dirección del lugar.
	Características de las estaciones	Se realizar la descripción de cada una de las estaciones del SVCAUD en donde mencione la clasificación, localización, contaminante que mide, dirección predominante del viento, tipo de zona, tipo de área, equipo de medición y estación meteorológica que utiliza. Además, se presenta una tabla con el nombre y la imagen correspondiente de cada estación, incluyendo los contaminantes evaluados y el con el código de referencia de la Agencia de Protección Ambiental - EPA.
Validación	Análisis de excedencia	Por medio de una tabla se muestra el número de excedencias por cada estación durante el trimestre, el contaminante, el nivel máximo permisible (µg/m3), tiempo de exposición, porcentaje de excedencias y la cantidad de los datos validados.
Comparación y análisis	Análisis de las concentraciones con la norma nacional	Se presenta el comportamiento de las concentraciones diarias de los contaminantes medidos por las estaciones por medio de una gráfica de barras, comparadas con la norma nacional vigente y con la Organización Mundial de la Salud (OMS). Por otra parte, se realiza un diagrama de caja y bigotes de los promedios diarios de cada estación en conjunto, para mostrar los valores más altos y más bajos registrados en las diferentes estaciones e igualmente visualizar la mediana y el porcentaje en que se encuentran con mayor concentración los datos recolectados.
	Estadística descriptiva	Se elaborar una tabla que contenga información estadística del contaminante medido en $\mu g/m^3$ en cada una de las estaciones, la dirección del viento, velocidad del viento en m/s, precipitación, Humedad relativa en porcentaje (%) y temperatura ambiente en grados Celsius. La información estadística debe contar con el porcentaje de la media móvil, desviación estándar, coeficiente de variación, el máximo y mínimo, percentil 95 y el percentil 5.

Comparación y análisis	Índice de la calidad del aire ICA	Se realiza una gráfica de barras con el valor del ICA que corresponda para cada día según el contaminante durante el trimestre, se debe mostrar entre qué rango de la calidad del aire se encuentra la estación, para eso se debe distinguir por los colores correspondientes según la norma. Además, se ubica el calendario ICA, dentro de cada casilla se mostrará el color correspondiente del ICA que pertenezca a cada día. Se realiza una tabla con todas las categorías del ICA con su respectivo rango y color, con el propósito de complementar la información mostrada.
	Análisis de contaminantes	Se presenta una gráfica tipo línea que contenga el valor de las concentraciones de 24 u 8 horas del contaminante frente a las medias móviles horarias y una línea para indicar el límite normativo, con el objetivo de mostrar el comportamiento trimestral horario y de la media móvil horaria para cada una de las estaciones. Por otra parte, se elabora un diagrama de caja y bigotes para mostrar el comportamiento semanal según la hora del día en cada una de las estaciones dependiendo del contaminante. Además, se muestra una gráfica de dispersión para relacionar los contaminantes contra las variables meteorológicas. En este informe de debe incluir los análisis para Ozono (O3), Partículas ultrafinas y Black Carbon.
	Análisis meteorológico	En una gráfica de escala de colores se presenta el comportamiento de la temperatura, la humedad y la precipitación durante el trimestre, adicional, se elabora una gráfica de eje dual que muestre el comportamiento de la temperatura, la humedad y la precipitación durante el trimestre junto con los datos de la concentración del contaminante, realizándose por cada estación. Por otra parte, se muestra el comportamiento de los vientos por medios de la rosa de vientos donde indique la velocidad, dirección y frecuencia de los vientos. Igualmente, se enseña la rosa de contaminación donde indique la dirección y velocidad del viento, y las concentraciones de donde proviene el contaminante. Y por último la gráfica polar donde muestre las concentraciones medias del contaminante con respecto a la dirección y la velocidad del viento.

5.4.4 Especificaciones del informe anual

El informe anual es realizado con el fin de mostrar las tendencias de las concentraciones según el comportamiento que ha tenido durante el año, es un informe estructurado que cuenta con introducción, donde se nombra parte de los resultados más relevantes, la problemática actual, tanto global, regional y local, se describe la red de monitoreo con la que se cuenta. Los objetivos se ajustan a los presentados por el protocolo de la calidad del aire, manual de diseño, y se expresan los propósitos definidos para el sistema de vigilancia de la universidad distrital. Normatividad, hace referencia a la norma nacional vigente la cual establece los valores máximos permisibles, incluye ICA, y niveles recomendados por la OMS, el informe anual cuenta con las siguientes etapas dentro de su elaboración (tabla 22), el formato y el ejemplo del informe se encuentra en el anexo V.

Tabla 22.
Especificación del informe anual

Etapas	Capítulos	Descripción
Descripción	Sistema de vigilancia de la Universidad Distrital	Descripción cómo está constituido el sistema de vigilancia, ubicación de las estaciones, contaminantes que se monitorean, especificaciones técnicas de las estaciones que conforman el SVCAUD.
	Descripción de cada una de las estaciones de monitoreo	Especificación por cada estación de monitoreo, donde incluya mapa de localización, clasificación, uso del suelo, muestreador utilizado, contaminantes monitoreados, descripción de zonas de influencia cercanas, que pudieron afectar la calidad del aire durante el año.
Validación	Rendimiento del SVCAUD	Se describe de acuerdo al porcentaje de captura de datos, cuáles son las estaciones evaluadas dentro del presente informe, las que cuentan con el porcentaje de suficiencia mayor al 75%, para realizar el análisis correspondiente.
Comparación y análisis	Concentración media anual del contaminante.	Se realiza de acuerdo a los resultados obtenidos de la concentración del promedio anual de los contaminantes PM_{10} y $PM_{2,5}$, comparados con la normatividad, el nivel máximo permisible para tiempo de exposición anual, y las recomendaciones de la OMS, se establece las concentraciones que exceden.
	Cumplimiento normativo	Se analiza el o los contaminantes respecto a la normativa nacional vigente, expresando concentraciones mayores alcanzadas durante el año, se representa a través de gráficas donde expresen la concentración horaria del contaminante y la concentración media 24 horas, en esta última es necesario realizar la comparación con la normativa para tiempo de exposición de 24 horas, y la guía de la OMS, analizando las excedencia presentadas, durante los meses con mayor influencia con respecto a la concentración.
	Comportamiento del contaminante	Gráfica de tendencias en el comportamiento de la concentración del contaminante, representa por días de la semana, horas, meses y semana laborable, las concentraciones que fueron predominantes durante el año evaluado, el propósito es evidenciar el impacto de la calidad del aire relacionado a la zona y el uso del suelo de la estación con respecto a las tendencias presentadas.
	Índice de la calidad del aire	Gráfica y calendario, que represente el índice de la calidad del aire de acuerdo a las categorías establecidas por la normatividad vigente, con los colores respectivos, se analiza los rangos presentados para dar a conocer el comportamiento del contaminante, estableciendo si se encuentra entre las categorías, buena, aceptable, dañina para grupos sensibles, muy dañina para la salud, y peligrosa.
	Análisis meteorológico	Se analiza velocidad y dirección del viento a través de la rosa de vientos, de manera mensual y anual, donde se estipule las corrientes más significativas por porcentajes, nombrar factores que influyan en dichos fenómenos como edificaciones, adicional a través de grafico polar del contaminante evaluado respecto a la dirección y velocidad del viento, se estipula la tendencia promedio del contaminante y su origen.

6 CONCLUSIONES

- Mediante la indagación de los manuales de las especificaciones técnicas de los equipos e instrumentos que utiliza cada estación, se verificó la información más relevante que contiene, teniendo en cuenta las pautas estipuladas por el fabricante para establecer el programa de aseguramiento y control de calidad que garantiza el óptimo manejo y uso, con el fin de que en los procesos de validación y procesamiento estadístico, los datos cumplan con el criterio de suficiencia del 75% y brinden veracidad en la información.
- El proceso de validación de los datos permitió generar la orientación que se debe llevar a cabo al momento de manipular la información recolectada, explicando cada uno de los pasos de validación de manera practica y estandarizando las actividades presentes en el manual de operación del protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire para aumentar la confiabilidad y la calidad de los datos. Además, de contar con un profesional calificado de carácter técnico para realizar la labor, siendo el punto clave en la toma de decisiones para la veracidad y representatividad de la información.
- Al desarrollar el procedimiento estadístico se pudo definir la manera de utilizar los datos para el desarrollo de los informes, utilizando varias metodologías con aplicabilidad para la presentación del comportamiento de los datos de calidad del aire y que ayudan a la fácil interpretación de los resultados. La generación de la estadística propuesta permitió la producción de información confiable de manera indicativa para analizar el estado de la calidad del aire en la universidad durante el mes de febrero del año 2019.
- Los diseños de los informes se estructuraron cumpliendo con una presentación del procedimiento claro del contenido que debe llevar cada uno de ellos, con base a la información indicada en el manual de diseño del protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire aplicada únicamente en la universidad, siendo de fácil manejo para el personal que lo elabora y ofreciendo un contenido cómodo para el lector. Igualmente, se plantearon cumpliendo con los objetivos estipulados dentro del SVCAUD que es la base de la realización de los informes.

7 RECOMENDACIONES

- Realizar el traslado de toda la estación Paiba a la estación Porvenir y pasar el equipo BAM 1020 de la estación Porvenir a la estación Paiba, para que la Universidad Distrital tenga una estación completa, en la que se cuente con un analizador de ozono fotométrico T400, un contador de partículas ultrafinas Teledyne API 651, un equipo de Black Carbon Aetalometro AE33 y un equipo automático de PM_{10} y $PM_{2.5}$ simultaneo T640 Teledyne API, teniendo en cuenta que se va a adquirir este último por parte del laboratorio de calidad del aire de la universidad.
- Elaborar el procedimiento detallado y los formatos del programa de aseguramiento y control de la calidad para la operación rutinaria como el mantenimiento correctivo y preventivo, con el fin de llevar un control de lo que se ejecuta y poder respaldar las buenas prácticas de operación de los equipos, garantizando la calidad de los datos y la elaboración de los informes.
- Conseguir más personal para la operación del SVCAUD ya que en diversas actividades se requiere a más de una persona con la capacidad técnica para ejecutar las acciones planteadas dentro de este procedimiento y poder así cumplir con los objetivos estipulado.
- El SVCAUD requiere adquirir una interfaz web que permita la realización de reportes en tiempo real, con el propósito de estar en alerta cuando se presenten concentraciones que sobrepasen el límite estipulado por la normativa.
- Adquirir un verificador portátil para el analizador de ozono fotométrico con la finalidad de ser manejable al momento de transportar el equipo y así reducir riesgos de deterioro por golpes durante el transporte además de disminuir gastos ya que el equipo que cuenta el laboratorio de calidad del aire actualmente es de gran tamaño.

REFERENCIAS

Aeroqual. (2010). Guia del usuario AQM60. Auckland, New Zealand.

Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Resolución 2254 de 2017. Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambinte y se dictan otras disposicione.* Bogotá.

Corpoboyacá. (Febrero de 2019). Reporte mensual de calidad del aire CORPOBOYACÁ. 20.

ENVITECH. (Enero de 2013). Obtenido de http://www.envitech.co.il/

EPA. (2016). Guía de la calidad del aire sobre el ozono. 2.

EPA. (s.f.). *Aire*. Obtenido de https://espanol.epa.gov/espanol/aire

García, D. (2018). Calidad del aire y políticas públicas en Bogotá: una historia de injusticia ambiental. En *Calidad del aire y políticas públicas en Bogotá: una historia de injusticia ambiental* (pág. 4). Bogotá D,C, Colmbia: Fundación Heinrich Böll.

Hidalgo, M. (2011). *Metodología para la validación de datos de calidad del aire generados por una red de monitoreo automático.* México: Universidad Nacional Autónoma de México.

IDEAM. Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2017. Primera Edición. Bogotá, D.C., 2018.

INE. (2009). *Manual 5. Protocolo de Manejo de Datos de la Calidad del Aire.* Ciudad de México.

INE. (2010). *Manual 4. Operación de estaciones de medición de la calidad del aire, mantenimiento y calibración de sus componentes.* México.

infogram. (s.f.). *infogram*. Obtenido de https://infogram.com/es/crear/grafico-eje-dual

ingenieria, K. (19 de Noviembre de 2017). *Calidad del aire*. Obtenido de https://www.k2ingenieria.com/que-es-una-rosa-de-viento-y-de-contaminacion/

MAE. (2003). *Diagnostico preliminar gestion de la calidad del aire.* Quito.

MAVDT. (2008). *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire: Manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire.* Bogotá.

MAVDT. (2010). *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire.* Bogotá.

MesaLabs. (2016). *Medidor de flujo primario Definer 220.* Obtenido de http://bit.ly/2lYpJO2

MesaLabs. (s.f.). *Calibrador volumétrico de flujo de aire TetraCal BGI.* Recuperado el Septiembre de 2019, de http://bit.ly/2m4NxzC

Metone. (2008). Manual de funcionamiento del monitor de partículas BAM 1020. Washington, EE. UU: Met One Instruments, Inc.

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (01, noviembre 2017). Resolución de la calidad del aire y se dictan otras disposiciones. [2254]. Recuperado de https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/96-res%202254%20de%202017.pdf

Portal, D. (2018). Gestión de la contaminación ambiental mediane técnicas de minería de datos. *Revista Cubana de Meteorología, Vol, 24*, 6.

Sbarato, D., Sbarato, V. M., & Ortega, J. E. (2007). *Predicción y evaluación de impactos ambientales sobre la atmósfera.* Córdoba: Encuentro grupal editor.

SEA. (2012). *Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA.* Santiago de Chile.

SIAC. (s.f.). *Sistema de informacion Ambiental de Colombia*. Obtenido de http://www.siac.gov.co/siac_general

Teledyne. (13 de Marzo de 2006). Manual de instrucciones Calibrador de precisión modelo 702. San Diego, California, USA.

Teledyne. (2011). Monito de particulas ultrafinas modelo 651. San Diego, California, E.E.U.U: Teledyne Technologies Company.

Teledyne. (30 de Octubre de 2018). Manueal de operacion del analizador de ozono fotometrico. San Diego, California, USA.

Teledyne. (s.f.). *Calibradores de gas y Zag*. Obtenido de Sistema de aire cero Modelo T701: http://www.teledyne-api.com/products/gas-calibrators-zero-air-generators/t701

UPO. (s.f.). *El caso específico del ozono como fuente de contaminaición*. Recuperado el 2019, de https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/trab_alumnos/sevilla/sevilla.htm

ANEXOS

Anexo I. Datos del equipo BAM 1020 sede Porvenir.

Anexo II. Formato y ejemplo del informe Semanal.

Anexo III. Formato y ejemplo del informe mensual.

Anexo IV. Formato informe trimestral.

Anexo V. Formato y ejemplo del informe anual.