

EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA UNIVERSIDAD SANTIAGO DE CALI

Medición de las Partículas Totales en Suspensión

Tito Reynaldo Reyes Arias¹
Diana Paola Bernal Suárez²
dianabernal@usc.edu.co

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de Especialización de Contaminación Ambiental [Docente] (1)
Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Docente Dedicación Exclusiva (2)

Resumen

La contaminación del aire es uno de los problemas ambientales más severos a nivel mundial, y que tiene particular incidencia sobre la salud de los seres humanos. Cali es una ciudad densamente poblada, con diversidad topográfica en su terreno y un entorno con múltiples actividades industriales y de transporte que emiten a la atmósfera diferentes contaminantes que afectan desfavorablemente la calidad del aire que se respira en el ambiente. El objetivo general del proyecto es determinar la concentración de partículas totales en suspensión y su incidencia en la calidad del aire en el entorno de la Universidad Santiago de Cali. El monitoreo de las partículas en suspensión y la calibración de los equipos de muestreo de alto volumen se realizó de acuerdo a la Resolución No. 02308 de Febrero 24 de 1986 del Ministerio de Salud y las normas de la U.S. EPA contenidas en el 40 CFR Part 50, Appendix B, sobre Reference Method for the Determination of Suspended Particulate Matter in the Atmosphere (High Volume Method) y la Norma Técnica Colombiana NTC 3704 del ICONTEC. De los resultados se concluye que las partículas en suspensión total (PST) presentan concentraciones que exceden la norma local corregida $88.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sobrepasando así el valor permisible establecido por la legislación colombiana, lo que posiblemente genere consecuencias indeseables en la salud de la población como infecciones respiratorias agudas y episodios de asma bronquial, expuesta a la contaminación ambiental originada por la densidad vehicular.

Palabras clave: Contaminación ambiental, calidad del aire, infección respiratoria aguda, asma bronquial, partículas suspendidas totales

Summary

Air pollution is one of the most severe environmental problems worldwide, and it has a particular impact on the health of human beings. Cali is a densely populated city, with topographic diversity in its land and an environment with multiple industrial and transport activities that emit different pollutants into the atmosphere that suffer unfavorably from the quality of the air that is breathed in the environment. The general objective of the project is to determine the concentration of total suspended particles and their impact on air quality in the environment of the Santiago de Cali University. The monitoring of suspended particles and the calibration of high-volume sampling equipment was carried out in accordance with Resolution No. 02308 of February 24, 1986 of the Ministry of Health and the standards of the US EPA contained in the 40 CFR Part 50, Appendix B, on Reference Method for the determination of particulate matter suspended in the atmosphere (High Volume Method) and the Colombian Technical Standard NTC 3704 of ICONTEC. From the results it is concluded that the particles in total suspension (PST) present the particles that exceed the corrected local norm $88.1 \mu\text{g} / \text{m}^3$, thus exceeding the allowed value established by Colombian legislation, possibly generating undesirable consequences on the health of the population such as acute respiratory infections and bronchial asthma episode, exposed to environmental pollution caused by vehicular density.

Key words: Environmental pollution, air quality, acute respiratory infection, bronchial asthma, total suspended particles

1. INTRODUCCIÓN

En el contexto ambiental, la contaminación atmosférica se define como la acumulación o concentración de contaminantes en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana que se deterioran por los efectos de las altas concentraciones de contaminantes en la atmósfera. La contaminación causa muertes y enfermedades prematuras y, además, altera la economía de los países en vía de desarrollo y sus dinámicas económicas y sociales en la región de América Latina y el Caribe» (Clean Air Institute, 2012, p. 31).

El tema de contaminación del aire empezó a ser un problema para los científicos al presentarse eventos como los de Meuse Valley en 1930. (Roholm, K. (1937), donde murieron más de 60 personas por emisiones de SO₂ y fluorocarbonados; el de Donora Pennsylvania en 1948. (Hamill, Sean D.2008), dando muerte a más de 20 personas por emisiones de material particulado y el más importante, en Londres en 1952 con la muerte de más de 4,000 personas también por presencia de partículas en el ambiente (Nevers, 1998).

La contaminación atmosférica es el principal riesgo ambiental para la salud en las Américas (WHO, 2016a). La Organización Mundial de la Salud estimó que una de cada nueve muertes en todo el mundo es el resultado de condiciones relacionadas con la contaminación atmosférica (WHO, 2016). Los contaminantes atmosféricos más relevantes para la salud son material particulado (PM) con un diámetro de 10 micras o menos, que pueden penetrar profundamente en los pulmones e inducir la reacción de la superficie y las células de defensa. La mayoría de estos contaminantes son el producto de la quema de combustibles fósiles, pero su composición puede variar según sus fuentes.

Las directrices de la OMS sobre la calidad del aire recomiendan una exposición máxima de 20 ug/m³ para PM₁₀ y una exposición máxima de 10 ug/m³ para PM_{2.5}. La OMS estimó que en el año 2016, aproximadamente el 58% de las muertes prematuras relacionadas con la contaminación atmosférica se debieron a cardiopatías isquémicas y accidentes cerebrovasculares, el 18% se debieron a enfermedad pulmonar obstructiva crónica e infecciones respiratorias agudas (WHO, 2005). La presencia de infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores (ALRI) son debidas a partículas inhaladas por la contaminación del aire interior producto del uso de combustibles sólidos (Balakrishnan et al., 2014).

Estudios realizados en el país muestran que los problemas de contaminación atmosférica en las grandes ciudades generan altos costos sociales y ambientales. Los costos en los que incurre Colombia por mortalidad y morbilidad asociadas a contaminación del aire se incrementaron, pasando de 1,1% del PIB de 2009 (\$5,7 billones de pesos) a 1,59% del PIB de 2014 (\$12 billones de pesos) y del 1,93% del PIB en 2015 (\$15.4 billones de pesos) que pueden asociarse a 10.527 muertes (DNP.2017) , lo que pone en evidencia la necesidad de seguir implementando estrategias para lograr la efectiva reducción de la emisión de partículas y gases al aire. A pesar de que la metodología de estimación empleada no es la misma, parece que estos costos se encuentran en aumento.

En el mismo estudio se reporta que la contaminación del aire en Colombia es el tercer factor generador de muertes prematuras después de los desastres naturales y los accidentes de tráfico (World Bank 2012). Estudios en menores de edad han demostrado que son uno de los grupos más vulnerables frente a la contaminación ambiental (Landrigan et al, 2004); la Secretaría de Salud Pública de la ciudad de Cali y la entidad ambiental Dagma, en conjunto con entidades gubernamentales, internacionales y académicas, han mostrado preocupación por la población vulnerable, debido a la presencia de enfermedades respiratorias agudas (IRA) (Min salud, 2013).

Con la presente investigación se cuantificó la concentración de material particulado mediante el método gravimétrico, en los alrededores de la Universidad Santiago de Cali para conocer el comportamiento del contaminante criterio (definido por la organización Mundial de la salud como un indicador ambiental y a futuro

proporcionar información a las entidades de vigilancia y control ambiental en la ciudad de Cali. Siguiendo el protocolo contemplado en el Manual de Diseño para el Monitoreo y Seguimiento de Calidad del Aire. (Resolución 610 de 2010).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación fue de tipo cuantitativo descriptivo, que exploró el comportamiento de los contaminantes presentes (específicamente partículas totales en suspensión - PST), en los alrededores de la Universidad Santiago de Cali, sede Pampalinda. La metodología del estudio se realizó en las siguientes tres etapas:

2.1 Diagnóstico de las principales fuentes de emisión de partículas totales en suspensión

Las fuentes a evaluar fueron las siguientes:

Fuentes Móviles: Para hallar estas emisiones se hizo necesario el uso de modelos de emisiones para fuentes móviles. Modelo IVE (International Vehicle Emissions Model) o factores de emisión versión 2.0 para estimar la emisión de contaminantes atmosféricos provenientes de las fuentes móviles. Este modelo fue desarrollado especialmente para ser usado en países en vías de desarrollo, en los que existen condiciones de tráfico y tecnología vehicular diferentes a los de los países desarrollados. Para la aplicación de estas metodologías se consultó la información de Inventario de Emisiones (Dagma 2017) (ver Tabla 1)

Tabla 1. Inventario de Emisiones de fuentes móviles

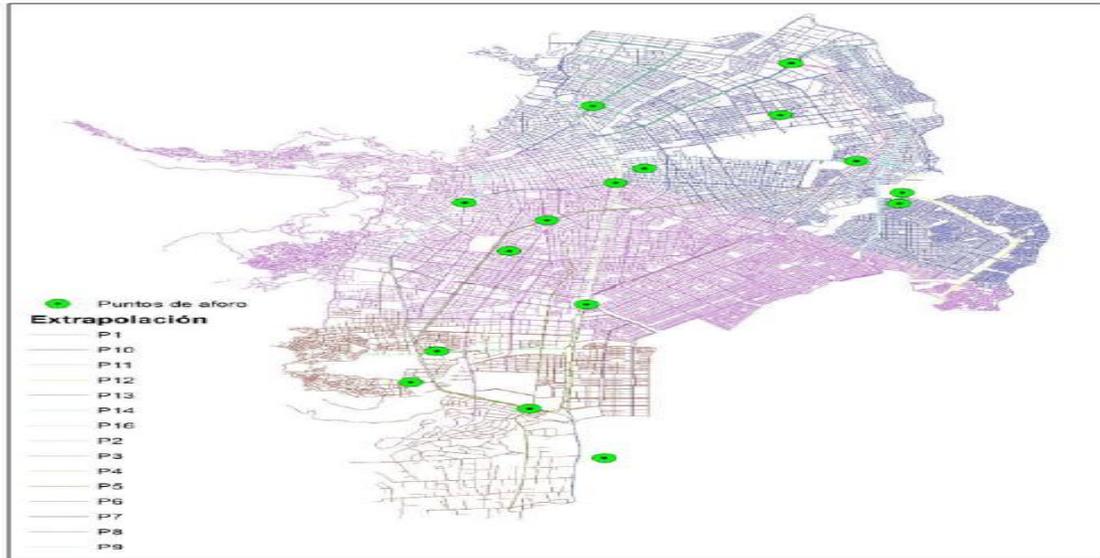
Tipo Vehículo	CO tn/año	VOC tn/año	Nox tn/año	Sox tn/año	MP tn/año
Buses	13,54	2,60	23,66	1,09	1,06
Microbuses	4,37	0,23	1,99	0,32	0,16
Livianos	1232,99	53,43	80,14	3,42	0,68
Camiones	0,12	0,03	0,21	0,01	0,01
Motos	922,81	288,38	38 57	10 1,15	12,11
Total	2191.692	347.599	188.494	7.400	15.421

Se evidencia que el tipo de vehículo que más emite CO, NOX y SOX son los vehículos livianos, mientras que las Motos por su gran cantidad son las principales fuentes de VOC y MP, lo que refleja la problemática vial que este tipo de vehículos genera en este punto P14 de la ciudad, localizado en la calle 5 con 62. (Ver mapa 1)

El inventario permitirá caracterizar y cuantificar las emisiones generadas por fuentes móviles, lo anterior con base en el modelo elaborado por el PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente) y la TNT (Compañía de transportes de los FedEx) en el "Modulo 18", el cual proporciona los factores de emisión para diferentes tipos de vehículos que transitan por esta vía de la ciudad de Cali zona sur. Este estudio se apoyó en la metodología planteada por Pimiento, L. M. (2013). (Ver Tabla 2).

Los resultados de los inventarios identifican las principales fuentes de contaminación dentro de la zona de estudio. Esta información puede ser útil para planificar los sistemas de gestión y los sistemas de vigilancia de la calidad del aire. (MAVDT, 2010)

Mapa 1. Punto de aforo fuente móviles y extrapolación vial

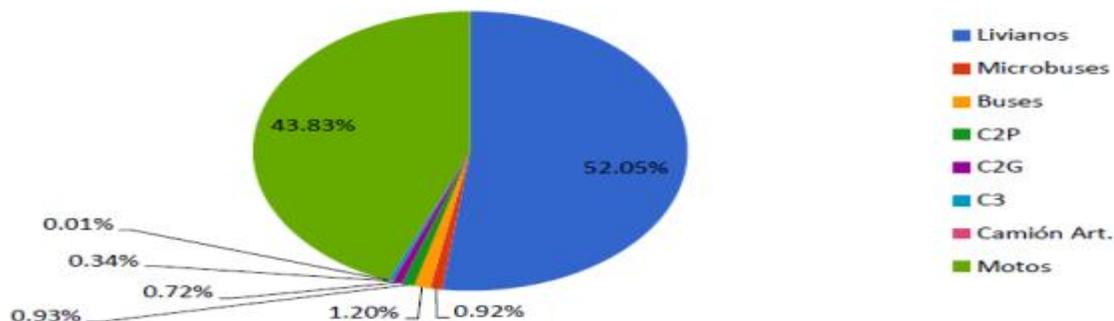


Con la longitud por cada tipo de vía extrapolada, se procede a determinar la emisión por cada tipo y con base en el factor de emisión descrito.

<i>Tabla 2.Distribución vehicular (vehículo/día).Tipo de Vehículos</i>	Vehículos /día
Buses	778
Microbuses	599
Livianos	33808
Camiones	5
Motos	28466
Total	63656

El aforo realizado en este punto P14 presentó un flujo constante en el transcurso del día con mayor presencia de automóviles livianos y motocicletas que microbuses y buses, las franjas horarias que mayor registro presentaron fue entre las 06:00- 08:00 hrs. ; 11:00-12:00 hrs. ; 18:00-20:00 hrs (ver Figura.1). Donde esta vía presenta la siguiente característica: de uso principal, Calle 5 (4 carriles, 2 de ida y 2 de venida) Calle 5 (4 carriles, 2 de ida y 2 de venida) Sentido Norte-Sur. 3°23'22.9"N 76°32'43.5"W

Figura 1. Distribución Porcentual Vehículos Punto P14



2.2 Estudio del comportamiento de las partículas totales en suspensión

Teniendo en cuenta que los resultados no son extrapolables a la totalidad de una ciudad o región (IDEAM, 2017), se tuvo presentes variables topográficas y meteorológicas de la zona de estudio para la selección de los sitios de monitoreo, inicialmente serán planteados cuatro sitios identificados como los más representativos para esta zona del estudio.

Se definió la ubicación de las estaciones para determinar el impacto en la calidad del aire de fuentes significativas y se analizaron por separado los resultados del inventario de fuentes móviles (MAVDT, 2010) y fuentes fijas, identificando los impactos de las fuentes más relevantes. Un inventario de emisiones, es un instrumento para la gestión de la calidad del aire que permite conocer las emisiones contaminantes y las fuentes emisoras en un área geográfica específica y un periodo de tiempo determinado (normalmente un año).

Por lo tanto, para la localización de los sitios de monitoreo ambiental se tuvo en cuenta áreas bien definidas dentro de la comunidad universitaria, a fin de permitir el desarrollo de correlaciones entre los diferentes valores del contaminante criterio partículas totales en suspensión, al igual que sus efectos en los niveles de morbilidad y mortalidad de la población expuesta, de los sitios representativos:

Sitio N°1: (Jardín Infantil. Lado oeste)

Sitio N°2: (Parqueadero de estudiantes. Lado sur)

Sitio N°3: (Entrada principal a la Universidad. Lado este)

Sitio N°4: (Parqueadero de profesores. Lado norte)

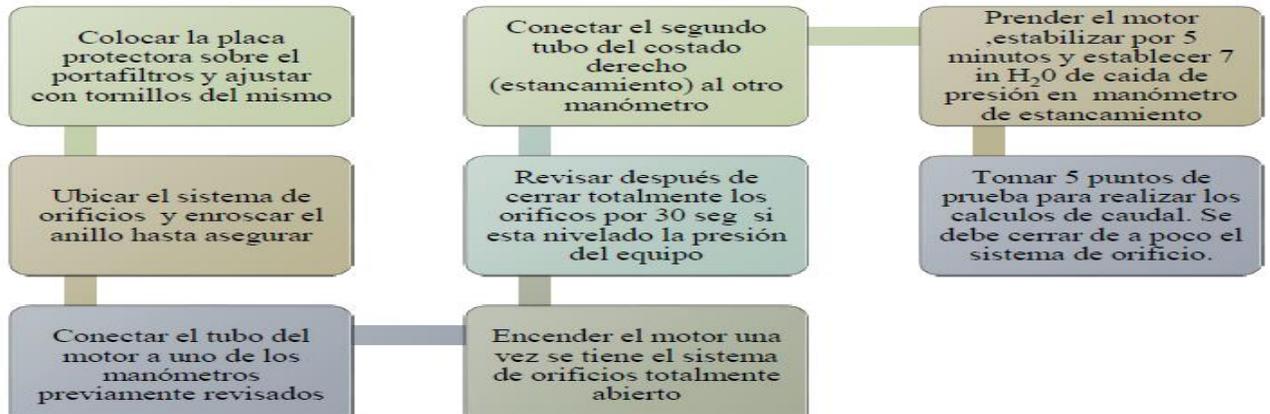
Se siguió los pasos de monitoreo ambiental según Norma Técnica Colombiana NTC 3704 del ICONTEC, donde se evaluó intervalos de tiempo de 24 horas por espacio de 10 días consecutivos para cada sitio definido para el estudio (EPA - 40 CFR Part 50, Appendix B, Reference Method for the Determination of Suspended Particulate Matter in the Atmosphere High Volume Method).

2.3 .Etapas de Operación

2.3.1. Método de Calibración del Equipo: HI-VOL

Al inicio del muestreo, en cada una de las estaciones de monitoreo ambiental se calibró el equipo HI-Vol. Figura 2 utilizando un equipo marca Hi-Q Enviromental Products Company, Modelo HFC-XXC (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, (2010). La Figura 2 presenta el procedimiento de calibración del equipo.

Figura 2. Procedimiento de calibración



La calibración del equipo se realizó con un kit, el cual puede ser un juego de platos o un sistema con resistencia de flujo variable. El juego de platos consiste en un tubo metálico y cinco platos intercambiables, con diferentes números de orificios que permiten varios flujos. El sistema de resistencia de flujo variable es un tubo metálico con un par de discos incorporados que permiten obtener varias aberturas al girar uno de los discos con un eje central que tiene dicho tubo. Cada uno de estos kits posee su ecuación de calibración con su respectiva curva, la cual se obtiene a través de un patrón primario o medidor de volumen estándar de desplazamiento positivo, Rootsmeter (ver ilustración 1)

Ilustración 1. Kit de calibración de muestreador de alto volumen (Hi-Vol).



2.3.2. Descripción de la estación o equipo de monitoreo:

Muestreador de alto volumen HI-VOL (muestreador activo) es un equipo que succiona una cantidad medible de aire ambiente hacia una caja de muestreo a través de un filtro durante un periodo de tiempo conocido, generalmente 24 horas. El filtro es pesado antes y después para determinar el peso neto ganado. El volumen total de aire muestreado se determina a partir de la velocidad promedio de flujo y el tiempo de muestreo. La concentración total de partículas en el aire ambiente se calcula como la masa recolectada dividida por el volumen de aire muestreado, ajustado a las condiciones de referencia.. La concentración real de partículas puede calcularse a partir de la siguiente Ecuación 1. Existen dos muestreadores de este tipo que se diferencian en su controlador de flujo, pueden ser de sistema MFC (controlador de flujo de tipo másico) o VFC (controlador de flujo de tipo volumétrico) (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). (Resolución No. 02308 de Febrero 24 de 1986), (EPA 40 CFR Part 50), (NTC 3704).

Evaluación de la concentración de material particulado. Ecuación 1

$$\left[\frac{\text{ug}}{\text{m}^3} \right] = (P_f - P_i) \times 10^6 / V_{\text{std}} (\text{m}^3)$$

Donde:

P_i (gr) = peso del filtro inicial. Limpio

P_f gr) = peso del filtro con partículas

10⁶ = Factor d conversión de gramos a microgramos ug

V (m³) =Volumen de aire muestreado

Con la presente investigación se cuantificó la concentración de material particulado mediante el método gravimétrico, en los alrededores de la Universidad Santiago de Cali para conocer el comportamiento del contaminante criterio y a futuro proporcionar información a las entidades de vigilancia y control ambiental en la ciudad de Cali.

2.3.3. Criterios para ubicación de los equipos de monitoreo:

El Código de Regulaciones Federales de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (CFR 40), establece los criterios de representatividad para la localización de los sitios de muestreo de partículas suspendidas totales, de la siguiente forma:

- Altura de la toma de muestra sobre el piso: 2-15 m.
- Distancia al árbol más cercano: > 20 m de la circunferencia que marca el follaje o las raíces y por lo menos 10 m, si los árboles actúan como un obstáculo.
- La distancia del muestreador a obstáculos como edificios, debe ser mínimo, el doble de la altura en que sobresale el obstáculo sobre el muestreador. Se recomienda un radio libre de 10 m.
- El equipo debe tener un flujo de aire sin restricciones, 270° alrededor de la toma de muestra y/o un ángulo de 120° libre por encima del equipo
- No podrá haber flujos de hornos o de incineración cercanos. Se recomienda 20 m de distancia del sitio de muestreo.
- La distancia a las carreteras/caminos debe ser de 2 a 10 m del borde a la línea de tráfico más cercana.

2.3.4. Además se tuvo en cuenta los siguientes aspectos para el sitio de muestreo:

- Fácil acceso, para visitas regulares de inspección, mantenimiento y calibración.
- Seguridad del equipo de muestreo Hi-Vol.
- Infraestructura: el sitio debe contar con energía eléctrica
- Libre de obstáculos que afecten el flujo de aire en las cercanías del muestreador (ej: edificios, árboles, balcones, etc.)

Para la determinación de las partículas totales en suspensión (PST), se contó con datos de mediciones de 24 horas, con el equipo manual medidor de alto volumen (Hi-Vol) donde se obtuvo resultado diario el cual corresponde a las mediciones propuestas. (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, (2010).

Calculo de norma corregida a condiciones locales:

Las normas sobre calidad de aire representan concentraciones medias, teniendo en cuenta condiciones de referencia para temperatura y presión, es decir, 25°C y 760 mm de mercurio, respectivamente.

El artículo 32, del Decreto: 02/82, define la ecuación 2 que permite expresar las normas sobre calidad del aire a las condiciones locales, esto es:

$$N.L = N.C.R * [(P_bL / 760) * (298 \text{ °K} / (273 + T \text{ °C}))] \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

N.L = Norma Local

N.C.R = Norma de calidad en condiciones de referencia: 100 µg/m³.

P. B. L = Presión barométrica local (674 mm Hg)

T L =Temperatura promedio ambiente local (28 °C.)

Con base en la anterior ecuación se tiene que las Normas Locales para la zona donde se encuentra ubicada la Universidad Santiago de Cali, son:

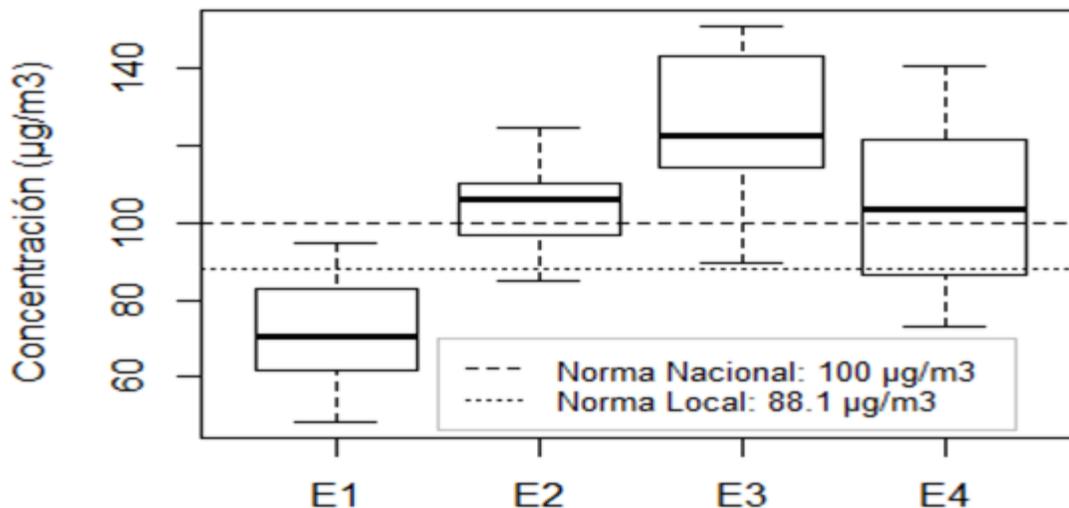
- Norma Local para Partículas Totales en Suspensión
- Norma Anual en condiciones de referencia = 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Norma Local Cali = 88.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Decreto 02 de 1982 del Ministerio de Salud reglamenta las Normas de Calidad del Aire y sus métodos

Se determinó la concentración real de partículas totales en suspensión en el laboratorio ambiental de la Universidad Santiago de Cali y se procedió al análisis de los resultados obtenidos de campo (Resolución No. 02308 de Febrero 24 de 1986 del Ministerio de Salud). Los datos obtenidos represento las concentraciones a las cuales están expuestos los grupos de población sujetos a estudio (ver Tabla 3).

3. Discusión y análisis de resultados

Algunos datos obtenidos de las estaciones de monitoreo detectaron la tendencia ascendente del material particulado, en concordancia con el aumento del flujo y parque automotor en esta zona sur, que se encuentra dentro de la limitada red vial de la ciudad. El ascenso observado durante el periodo de estudio de julio-octubre del 2017, representa un incremento de la concentración promedio geométrica y máxima diaria del contaminante criterio partículas totales en suspensión que es el indicador ambiental seleccionado para el estudio como se observa en la figura. 3

Figura 3. Partículas totales en Suspensión



Estas concentraciones registradas representan un aporte significativo del contaminante criterio partículas totales en suspensión, de fuentes que repercute para el deterioro ambiental de la calidad del aire y su incidencia de contaminación directa en este sector sur de la ciudad de Cali pampa linda, es por el tráfico vehicular proveniente de la circulación del transporte público y particular sobre una de las avenidas principales de la ciudad, la calle 5, la cual bordea el Campus universitario es la principal fuente contaminante; así como al mismo tiempo la actividad de parqueadero de automóviles y motocicletas, que estacionan en gran parte de la zona que rodea el campus.

Otros factores que hacen más crítica la situación de la contaminación ambiental son dadas por las condiciones geográficas de la ciudad al suroccidente de Colombia sobre la margen oriental de la cordillera Occidental, con un área aproximada de 560.300 hectáreas que comprenden rango altitudinal entre 950 msnm en el valle geográfico del río Cauca, hasta 4.070 msnm en el Parque Nacional Natural (PNN) Los Farallones (POT, 2014). y rodeada de cadenas montañosas que bloquean las corrientes de aire que pudieran ventilarla y solo permiten el recorrido de vientos de

baja y moderada velocidad procedentes del norte y cuya eficiencia en la remoción de contaminantes resulta insuficiente

La contaminación atmosférica por material respirable supera los niveles de precaución internacional ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y excede las directrices que traza la Organización Mundial de la Salud, en la cual se proclama la necesidad de no rebasar los $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para la exposición prolongada.

Se puede observar la contribución que tienen los contaminantes criterios con la calidad del aire, originado por fuentes móviles y que circulan en este sector de la ciudad, donde se evaluó su comportamiento con los factores de emisión. CO tn/año 2191,62; VOC tn/año 347,599; NO_x tn/año 188,494; SO_x tn/año 7,400 y el contaminante criterio de estudio Material particulado MP tn/año 15,21

La emisión de contaminantes proveniente de las fuente móviles, en especial las partículas, aumenta levemente con el transito del flujo vehicular y de las rutas de servicio público colectivo complementarias al sistema integrado de transporte. Paradójicamente, es la concentración de partículas la que aumenta, alcanzando valores que superan la norma anual de calidad del aire ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en la mayor parte de la zona de estudio. En general, el comportamiento del material particulado (PST) muestra oscilaciones cíclicas que se presentan durante el periodo de muestreo, ascendiendo en los periodos laborales en armonía con el aumento de las actividades productivas y el transporte vehicular. Aún a pesar de la distancia que hay entre las estaciones de medición y las fuentes móviles de emisión, los valores de concentración de material particulado total (PST) se registran por encima de la norma local corregida $88.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para la ciudad, como se aprecia en los puntos: 2, 3 y 4 de su promedio geométrico y concentraciones máxima diarias de material particulado registrado varían desde $69.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta $124.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ver Tabla 3).

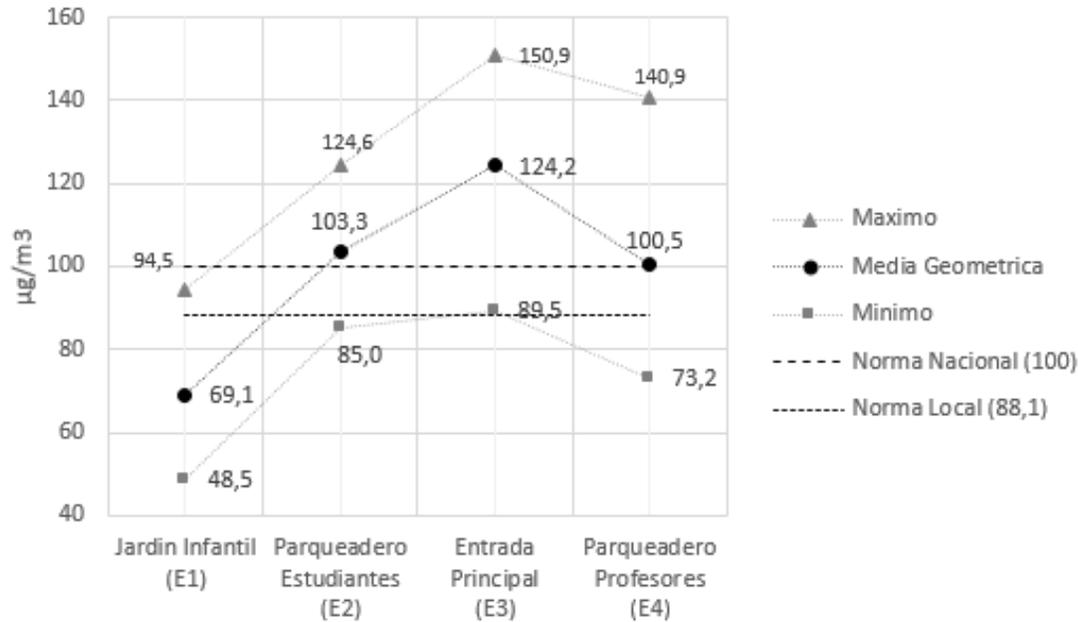
Tabla 3. Resultados promedio y las máximas diarias de material particulado

Criterios de Evaluación OMS.2005	Sitios de muestreo. Universidad Santiago de Cali				Norma Local	Decretos: 02-85 948-95
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4		
Parámetros de Evaluación	Jardín Infantil	Parqueadero de Estudiantes	Entrada Principal	Parqueadero de Estudiantes	Norma Corregida PTS. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Norma Nacional PTS. $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Promedio Geométrico $\mu\text{g}/\text{m}^3$	91.6	103.3	124.2	100.5	100.0	88.1
Máxima Diaria PTS. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	71.5	104.8	124.7	108.7		

Según los lineamientos establecidos en la Resolución 610 de 2010, los niveles diarios y anuales de estas contaminantes partículas totales en suspensión a condiciones de referencia deben calcularse a partir del promedio geométrico de cada una de las mediciones realizadas. El nivel máximo permisible anual establecido por esta norma, corresponde a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que para un tiempo de exposición diario es de $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$

El comportamiento de los valores obtenidos varían notablemente de los registrados en las estaciones (2 , 3 y 4) y da cuenta de una gran consistencia de los datos con valores que oscilan entre $69.1 - 124.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y mediciones que permiten registrar valores promedios diarios de $71.5 - 124.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y variaciones diarias que descienden por debajo de $48.5 - 73.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y que alcanzan a subir hasta $140.9 - 150.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en los momentos de alta congestión vehicular, como se puede apreciar en la Figura 4, donde se presenta la distribución de partículas por estación de muestreo

Figura 4. Comportamiento y Distribución de las Partículas en Suspensión



5. CONCLUSIONES

El estudio muestra que durante el periodo evaluado de julio-octubre 2017 las estaciones que obtuvieron mayor número de medias geométricas diarias que excedieron la norma anual $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Resolución 610 de 2010) corresponden a las estaciones ubicadas en los puntos 2, 3 y 4 correspondientes a al parqueadero de estudiantes, entrada principal y parqueadero de docentes, respectivamente. En los tres puntos se excedió los límites permisibles analizados, teniendo el valor máximo de $150.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con una media geométrica de $124.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Adicionalmente, ha sido la estación de la entrada principal de la universidad sede pampa linda que ha reportado la mayor excedencia de un registro diario ($124.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) de todo el estudio de monitoreo. La estación del punto 1 de manera similar, ha mantenido una excedencia a la norma anual. Sin embargo, se destaca el comportamiento creciente que viene teniendo la estación de los puntos 2, 3 y 4, la cual han pasado de tener valores medios de $100.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a tener concentraciones de $104.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En relación con partículas en suspensión total (PST), el nivel de contaminación registrado en este sitio de la ciudad, supera los niveles de la norma nacional de los $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y de la norma corregida para la ciudad $88.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y muy por encima de los niveles de precaución para la salud definidos por la Organización Mundial de la Salud – OMS ($35 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

La emisión diaria de contaminantes proveniente del parque automotor en la zona de estudio es de $42.25 \text{ t}/\text{día}$, de los cuales el 2.8% proviene de los buses, 1.4% microbuses, las motos contribuyen con el 43.8% y los carros livianos el 52% de la emisión del contaminante criterio PTS. La cantidad total de contaminantes criterio emitida por los buses en la zona de estudio es de $1.183 \text{ ton}/\text{día}$, que corresponde al 0.028% de la emisión total. La emisión de microbuses $0.591 \text{ ton}/\text{día}$ que corresponde al 0.014%, la emisión de motos $18.50 \text{ tn}/\text{día}$ que corresponde al 0.438% y la emisión de carros livianos $21.97 \text{ ton}/\text{día}$ que corresponde al 052% de la emisión total. El contaminante que más emiten los vehículos que transitan sobre esta vía principal es el material particulado.

Por otra parte, se hace necesaria la innovación e implementación de tecnologías de equipos para el control de las partículas emitidas a la atmósfera por esta actividad y en especial el de las fuentes móviles, sobre todo del parque automotor que se transita por esta vía principal de la calle 5, con 33.808 carros livianos, 28.461 motos que aportan

el 92 % de movilidad/día y el 8 % restante son los microbuses y buses que son la otra categoría que transitan por esta zona de la ciudad.

Diferentes estudios e investigaciones a nivel nacional han identificado la existencia de una relación directa entre contaminación del aire y enfermedades respiratorias agudas, lo cual permite tomar acciones conducentes a una reducción en las tasas de mortalidad y morbilidad, así como también la disminución en las admisiones hospitalarias y en el número de consultas, cuando se disminuye la contaminación ambiental que deteriora la calidad del aire.

6. REFERENCIAS

Clean Air Institute. (2012). La calidad del aire en América Latina: una visión panorámica. Washington D.C. The Clean Air Institute. Edición 2012, p.31.

Concejo Nacional de Política Económica y Social COMPES 3943 -2018 política de prevención para el mejoramiento de la calidad del aire.

“Donora Smog Held Near Catastrophe; Expert asserts slightly higher concentration Would Have Depopulated Community”, the New York Times, December 25, 1948. Accessed November 2, 2008

EPA - 40 CFR Part 50, Appendix B, Reference Method for the Determination of Suspended Particulate Matter in the Atmosphere High Volume Method).

Hamill, Sean D “unveiling a Museum, a Pennsylvania town remembers that smog killed 20”, the New York Times, November, 2008. Accessed November 2, 2008

Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. 2017. Informe del Estado de la Calidad del aire en Colombia.

International Sustainable Systems Research Center. “Software International Vehicle Emissions Model. Los Ángeles, USA,” [En línea], acceso enero 2010; Disponible: <http://www.issrc.org/>, 2008

International Vehicle Emissions, (IVE) Model. 2015

Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. (2012). Índice de calidad del aire (ICA). Ideam, 1–8. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial-MAVDT, M. (10 de 2010). Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. Obtenido de. [Http://www.minambiente.gov.co/images/Asuntos_ambientales_y_Sectorial_y_Urbana/pdf/aire/res2154021110manual_diseno.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/Asuntos_ambientales_y_Sectorial_y_Urbana/pdf/aire/res2154021110manual_diseno.pdf) Ministerio de Ambiente Vivienda y desarrollo Territorial. (Noviembre de 2010). www.ideam.gov.co.

Ministerio del Ambiente. 2010. Política para la Prevención y Control de la Contaminación del Aire.

MIN AMBIENTE. (2010). Manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire. Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, 137.

Nevers N. Ingeniería de control de la contaminación del aire. México: Mc Graw- Hill Interamericana 1998.

Organización Mundial de la Salud. 2005. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre, Actualización mundial 2005, *Resumen de evaluación de los riesgos*.

OMS, (2016). Impacto del medio ambiente en la salud. Obtenido de Salud ambiental: http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/PHE-prevention-diseases-infographicES.pdf?ua=1

Plan de Ordenamiento Territorial POT-2014. Acuerdo N° 0373

PIMIEN TO, L. M. (2013). Realización del inventario de emisiones. MÉXICO. DF: UNAM.

Resolución. 02308 de Febrero 24 de 1986 del Ministerio de Salud.

Roholm, K. (1937). "The fog disaster in the Meuse Valley, 1930: A fluorine intoxication". J. Ind. Hyg. Toxicol. **19** (3): 126–137

Who Air Quality Guidelines Global Update 2005. Bonn, Germany. <http://www.euro.who.int/Document/E87950.pdf>.

Who. Europe 2005. Air Quality Guidelines Global Update.

Who. (2006). WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Obtenido de Air pollution:http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69477/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf

World Health Organization. Statistics 2016 monitoring health for the SDGs WHO.2016a,

Who. 2017. Evolution of who air quality guidelines: Past, Present and Future.

World Bank. 2012. Colombia: Strengthening Environmental and Natural Resources Institutions. Study 2: Environmental Health in Colombia: An Economic Assessment of Health Effects