

**CARACTERIZACION QUIMICA Y MINERALOGICA DEL
MATERIAL PARTICULADO ATMOSFERICO EN LA ZONA
SEMIURBANA DEL NORTE EN BOGOTA**

Gabriel Herrera Torres
Ingeniero Sanitario
Msc Ambiental.

Justificación

- En los últimos años, la contaminación por MPA en áreas urbanas ha llamado la atención de diferentes sectores de la sociedad, puesto que algunos estudios han señalado que la exposición a niveles elevados de MPA, especialmente de la fracción respirable PM_{10} , está relacionada con trastornos respiratorios (Dick *et al*, 2003; Cowie *et al*, 2010) y cardiovasculares (Middleton *et al*, 2008). Con el objetivo de investigar las propiedades del MPA, ha surgido a nivel internacional una gran cantidad de trabajos relacionados con la concentración y composición del PM_{10} .
- Los estudios de caracterización fisicoquímica y mineralógicas del MPA en Bogotá son escasos. Algunas investigaciones han analizado el contenido de metales y de carbono orgánico y elemental en muestras de PM_{10} y $PM_{2.5}$ provenientes de áreas próximas a vías de transporte (Espínosa *et al*, 2006) y áreas residenciales (Vargas *et al*, 2012). Otras han analizado la concentración de iones y metales en muestras de PM_{10} y $PM_{2.5}$ obtenidas en zonas industrial, de alto tráfico y residencial de la ciudad (Behrentz, 2009). Ciertos autores han analizado la concentración de metales pesados en Puente Aranda, la principal zona industrial de la ciudad (Pachón y Sarmiento, 2008), mientras algunas investigaciones han estado orientadas a determinar la presencia de metales, metaloides, iones y compuestos orgánicos en muestras de PM_{10} , con el objetivo de comparar los resultados con los obtenidos en otras grandes ciudades de Suramérica (Vasconcellos *et al*, 2011).
- Estos estudios son relevantes y actúan como referencias clave para tener un conocimiento general de la composición del MPA en Bogotá y del nivel de exposición al que está expuesta la población. Sin embargo, ninguno de estos estudios presenta información representativa de la composición química y mineralógica del PM_{10} de un ambiente rural o de baja influencia urbana cerca de Bogotá, lo que permitiría conocer el nivel de fondo de contaminación del aire de la ciudad y, con ello, el nivel de aporte de las fuentes generadoras a nivel urbano. Es en este sentido que el presente trabajo pretende avanzar, al obtener información que será de referencia para futuros estudios que busquen analizar los niveles de contaminación atmosférica generados por fuentes antrópicas de diversa naturaleza en la ciudad de Bogotá.

Estado del arte

- El Material Particulado Atmosférico (MPA) se entiende como un conjunto heterogéneo de partículas emitidas por diversas fuentes (naturales y antrópicas), que incluye componentes de distinta naturaleza y tamaños.
- A nivel internacional se han desarrollado un gran número de estudios en torno a los efectos generados por el MPA sobre el cambio climático (IPCC, 2001; Aoki *et al*, 2006; Zhang *et al*, 2007; Redmond *et al*, 2010), la salud de la población (Pope *et al*, 2002; WHO, 2003; Analitis *et al*, 2006), la degradación de ecosistemas (World Bank Group, 1998), la disminución de visibilidad (Horvath, 1992) y la degradación de materiales de construcción (Alastuey, 1994). Estos impactos están directamente relacionados no sólo con el tamaño del MPA, sino también con su composición, especialmente cuando de salud pública se trata. De esta forma, algunos estudios señalan que el mayor impacto en la salud humana es causado por partículas de carbono, compuestos orgánicos (concretamente PAHs), sulfatos, nitratos y determinados metales (As, Cd, Fe, Zn, Ni) (Wichmann y Peters, 2000; WHO, 2003), provenientes de actividades antrópicas urbanas.
- Con el fin de tener un mayor conocimiento de lo que acontece en las ciudades, es importante identificar los aportes específicos provenientes del contexto urbano de interés, para lo cual es indispensable contar con información de los niveles de contaminación existentes a nivel de fondo. Para ello, diferentes estudios han caracterizado la composición química del MPA en contextos rurales o de baja influencia urbana, lo que permite tener información base para analizar el aporte de las actividades urbanas como tal, e identificar las respectivas fuentes de generación

Planteamiento del problema

- Grandes ciudades como Bogotá son consideradas como una de las principales fuentes de generación de MPA (Mage *et al*, 1996), especialmente de metales y metaloides tales como Cu, Zn, Cd, Ni, Cr y As, provenientes del desgaste de los neumáticos, emisiones industriales y actividades de incineración. (Markus and McBratney, 1996; Wilcke *et al*, 1998).
- Tras el desarrollo de estudios que evidencian la relación entre el MPA y el deterioro de la salud humana, ha surgido un creciente interés por conocer la composición de la fracción respirable PM_{10} en grandes metrópolis como Bogotá. Para tener cierto nivel de certeza del aporte proveniente de fuentes propiamente urbanas (transporte e industrias) es necesario conocer cuál es el valor de fondo del MPA. No obstante, actualmente no se cuenta con estudios que ofrezcan esta información y que presenten datos de muestras tomadas durante diferentes épocas del año en la periferia y zonas semirurales de Bogotá.



Objetivo General

Realizar una caracterización química y mineralógica de las concentraciones de material particulado atmosférico PM_{10} registrados en una zona semiurbana o de baja influencia urbana en el sector norte de la ciudad de Bogotá.





Objetivos Específicos

- Efectuar un inventario de las fuentes fijas y móviles de las emisiones presentes en la zona de estudio .
 - Determinar la concentración de material particulado menor a 10 micras (PM_{10}) y de partículas sedimentables, mediante muestreadores activos y pasivos ubicados en la zona semiurbana norte de la ciudad de Bogotá.
 - Determinar la composición mineralógica y físico-química de las concentraciones de material particulado menor a 10 micras (PM_{10}) registrada en la zona de muestreo.
-

Metodología

- En primer lugar se definirá un sitio de muestreo del PM_{10} en un ambiente de fondo rural o de baja influencia de actividades urbanas. se realizarán mediciones del nivel de PM_{10} en una estación de referencia ubicada en el edificio claustro de la Universidad La Salle, los resultados se llevarán al laboratorio al fin de establecer su composición química y mineralógica.
- En dicho punto se instalará un (1) equipo captador de alto volumen (PM_{10}) para el registro de niveles de concentración. Se realizarán muestreos cada tercer o cuarto día (por un periodo de tres meses y cada muestreo será de 24 horas. Para la determinación de partículas sedimentables, se seleccionaron cuatro lugares en la zona de estudio y se tomaran mediciones cada 15 días.
- Una vez obtenidas las concentraciones de PM_{10} mediante gravimetría, una porción de la muestra de los filtros será digerida mediante ácidos fuertes y luego analizada a través de Espectrofotometría de Absorción Atómica, con el fin de medir los niveles de concentración de elementos metálicos (Al, Si, Ca, Na, K, Fe). La detección de iones (NO_3 , SO_4 , NH_3) se realizará a través de cromatografía de intercambio iónico. Los analisis mineralogicos se efecturan en el Laboratorio de suelos del IGAC en Bogotá.
- Para la modelación por receptores se aplicará el modelo UNMIX 6.0 de la EPA, lo que permitirá evaluar la contribución de las diferentes fuentes de los componentes químicos en la zona de estudio.



Marco Legal

PM10

Resolución 2254	2017 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	“Por la cual se adopta la Norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones”	Se actualizan los umbrales de contaminantes a determinado tiempo.
--------------------	--	--	--

PARTÍCULAS
SEDIMENTABLES

LUGAR	VALORES
O.M.S (ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD)	Valores Máximos: 0.5 mg/cm ² mes. 5 Ton/Km ² mes.
ARGENTINA	Valor de Alerta 1 mg/cm ² 30 días.
ESPAÑA	Valor medio del Periodo de muestreo: 300 mg/m ² día.
ECUADOR	Valor Máximo de una muestra: 1 mg/cm ² 30 días



Zona de Estudio



- ❖ Para el año 2017 por el DANE, para la localidad de Usaquén, la población es de 472.908 personas.
- ❖ Su estructura arquitectónica está en crecimiento.
- ❖ Su densidad poblacional no supera los 250 hab/km².
- ❖ La actividad que se desarrolla principalmente corresponde al sector terciario y cuaternario.
- ❖ El proyecto se llevó a cabo entre los tramos de la carrera séptima hasta la carrera novena y desde la calle 183 hasta la calle 170, utilizando cuatro muestreadores pasivos para el polvo sedimentable y de uno para PM10, ubicado en el campus de la Universidad La Salle, sede la Floresta.

Fuente: (Elaboración propia)



Localización Puntos

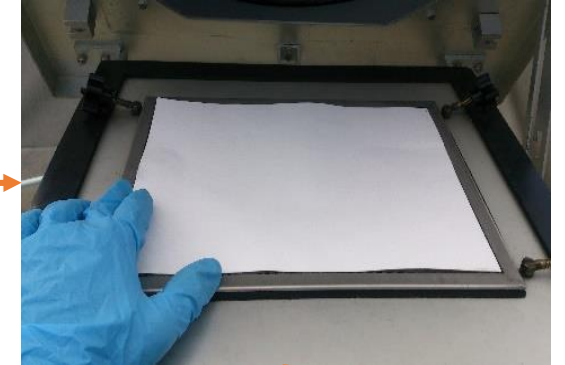
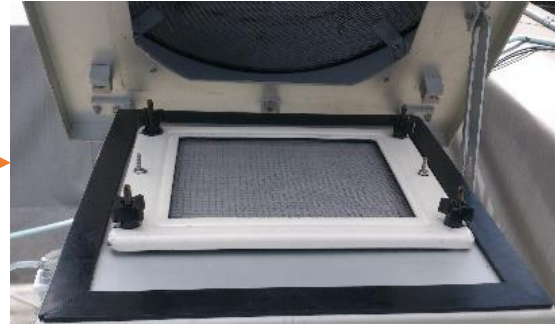
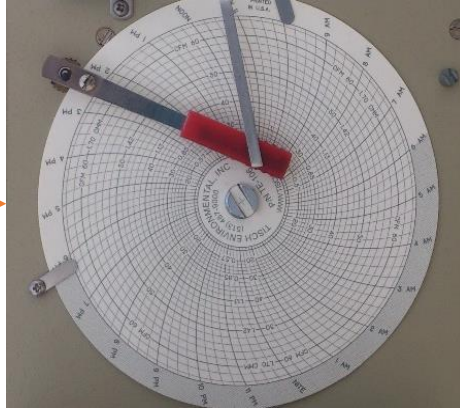


Punto A:

El muestreador activo se colocó en el edificio Claustro de la Universidad La Salle Sede la Floresta, costado nor oriental de la ciudad de Bogotá.



Muestreo Para Recolección De PM_{10}



Fuente: (Elaboración propia)

Localización Puntos



Punto A:

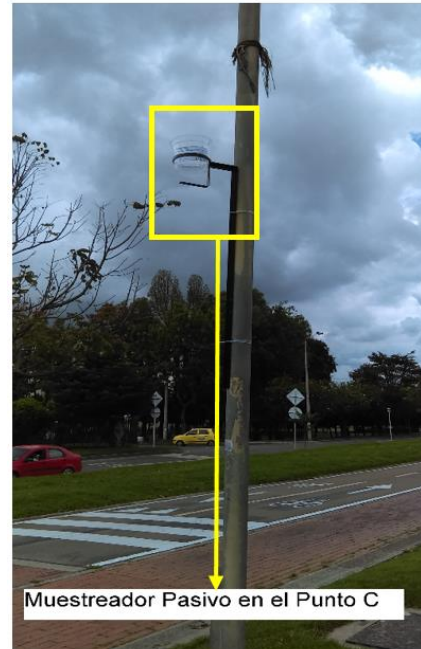
Muestreador pasivo y activo en el edificio Claustro de la Universidad La Salle Sede la Floresta.

Fuente: (Elaboración propia)

Localización Puntos



Punto B: Entrada de la Universidad La Salle sede la Floresta sobre la carrera séptima.



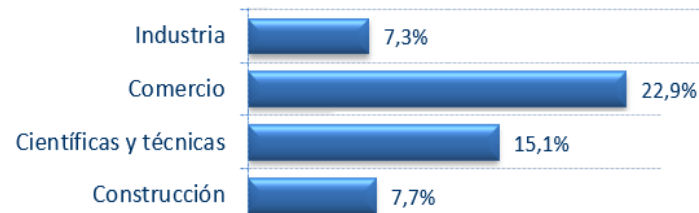
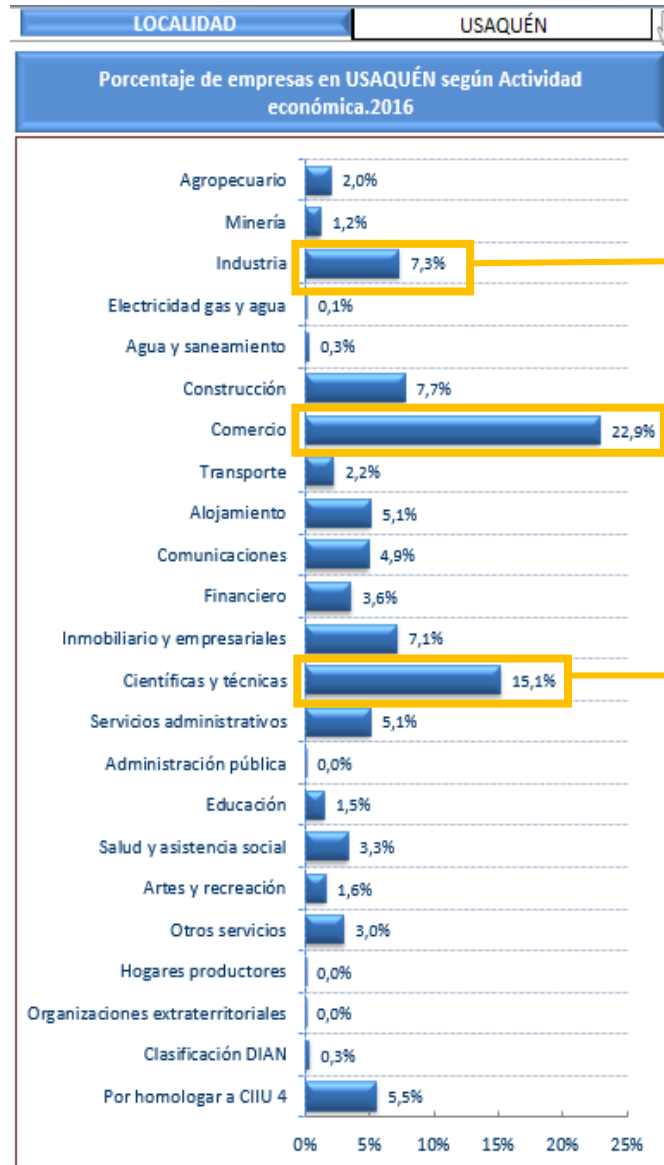
Punto C: Carrera octava con calle 170.



Punto D: Carrera novena con calle 183.



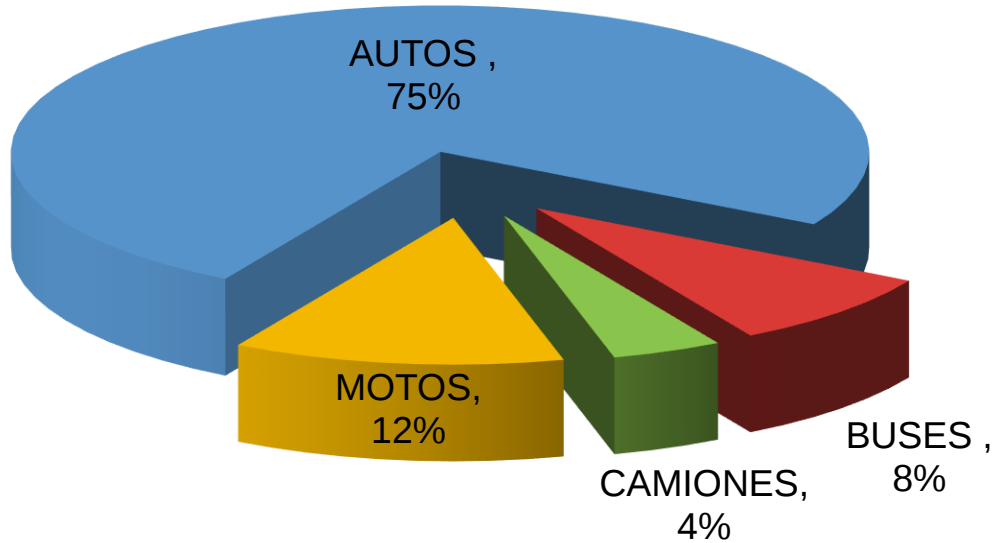
Diagnóstico Fuentes Fijas



**CEMEX
y
SILICAL**

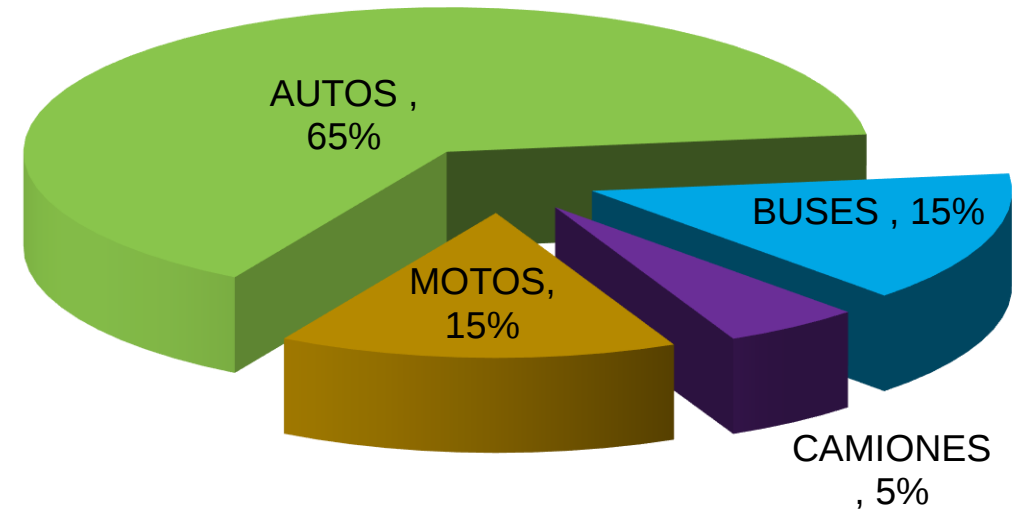


Diagnóstico Fuentes Móviles



COMPOSICIÓN VEHICULAR I

INTERSECCIÓN
CALLE 170 Y
CARRERA 9



COMPOSICIÓN VEHICULAR II

INTERSECCIÓN
ENTRE LA CARRERA
7 CALLE 183



Según el concepto emitido por el IGAC se da a conocer que: Las partículas minerales identificadas en el filtro analizado son: cuarzo, anfíboles y piroxenas. La morfología de éstos es variada; el cuarzo, por ejemplo, se encuentra en forma de granos irregulares subredondeados y redondeados, mientras que los piroxenas y anfíboles se identifican por cristales prismáticos. De todos los minerales detectados el más dominante es el cuarzo.

En los filtros es importante resaltar la presencia de un material sólido de tonalidad rojiza de carácter isotrópico, que se identifica por una morfología de granos irregulares angulares con tamaño superior, por lo general, a las 10 micras de diámetro equivalente, es fácil confundirlo con la hematita. El material no se pudo identificar, por lo que en los resultados del análisis óptico se rotulo como “Material rojo anaranjado”, es difícil precisar su origen y naturaleza

Los Fitolitos son sólidos constituidos por óxido de silicio amorfo que se sintetiza en el parénquima de las plantas, especialmente gramíneas, que quedan en el suelo como residuo sólido no cristalino de forma y tamaño variados luego de descomponerse el tejido vegetal.



La emisión de partículas minerales se genera por medio de la acción de los vientos sobre la superficie terrestre, en forma de emisiones fugitivas lo cual permite la aglomeración de estas y posteriormente la sedimentación de las mismas, en donde se encontraron los siguientes:

- calcita (CaCO_3)
- cuarzo (SiO_2)
- dolomita [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$]
- caolinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)
- feldespatos [KAlSi_3O_8]
- (Na, Ca) (AlSi) $_4\text{O}_8$]
- cantidades inferiores de sulfato cálcico ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- cantidades inferiores de óxidos de hierro (Fe_2O_3).

El origen de cada una de las partículas, descritas con anterioridad, se considera partículas primarias, ya que son emitidas directamente a la atmosfera. A pesar de que la mayor parte de las emisiones de materia mineral es de origen natural, es necesario considerar la existencia de un número limitado de fuentes de material particulado mineral de origen antropogénico. Así, actividades como la ampliación de la avenida calle 183, y los arreglos de la carrera 9, o durante los procesos de manipulación y transporte de materias primas (emisiones fugitivas) cercanos a los puntos de muestreo, constituye las emisiones para la zona de estudio.



Resultados de la concentración de PM₁₀

FECHA	SEPTIEMBRE	FECHA	OCTUBRE	FECHA	NOVIEMBRE
03/09/2016	23,82	01/10/2016	39,38	02/11/2016	27,71
07/09/2016	25,15	05/10/2016	31,00	06/11/2016	38,42
11/09/2016	24,64	09/10/2016	39,22	10/11/2016	29,08
15/09/2016	25,97	13/10/2016	34,63	14/11/2016	18,75
19/09/2016	23,38	17/10/2016	16,71	18/11/2016	42,04
23/09/2016	24,71	21/10/2016	47,46	22/11/2016	36,29
27/09/2016	41,04	25/10/2016	15,79	26/11/2016	47,08
29/09/2016	32,94	29/10/2016	42,58	30/11/2016	24,75
Promedio	27,71		33,34		33,02
PROMEDIO TOTAL			31,36 µg/m³		

Fuente: (Elaboración propia)



Resultados de la Composición Fisicoquímica

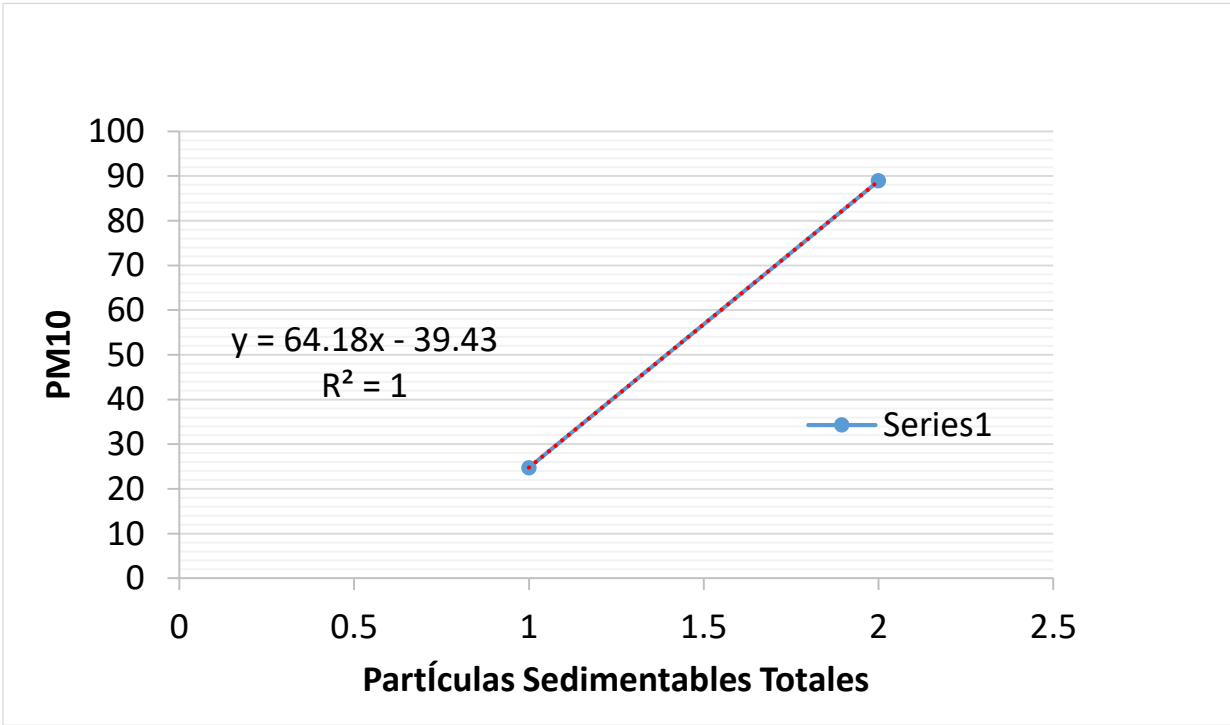
PARÁMETRO	RESULTADO
Sulfato	0.20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Nitratos	0.403 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS

Metal	Promedio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Aluminio	15,66
Calcio	1,87
Potasio	9,68
Hierro	0,18
Sodio	31,81



CORRELACIÓN DE PM₁₀ Y POLVO SEDIMENTABLE



FECHA	PM ₁₀ ($\mu g/m^3$)	SST ($\frac{mg}{cm^2 \times mes}$)	RELACIÓN
03/09/2016	23,82	51,21	1: 2,15
07/09/2016	25,15	86,86	1:3,45
11/09/2016	24,64	89,74	1:3,64
15/09/2016	25,97	92,67	1:3,57
19/09/2016	23,38	87,39	1:3,74
23/09/2016	24,71	94,97	1:3,84
27/09/2016	41,04	92,47	1:2,25
29/09/2016	32,94	95,34	1:2,89
01/10/2016	39,38	85,08	1:2,16
05/10/2016	31	62,78	1:2,03
09/10/2016	39,22	83,22	1:2,12
13/10/2016	34,63	85,98	1:2,48
17/10/2016	16,71	72,79	1:4,36
21/10/2016	47,46	84,48	1:1,78
25/10/2016	15,79	80,84	1: 5,12
29/10/2016	42,58	73,29	1:1,72
02/11/2016	27,71	85,28	1:3,08
06/11/2016	38,42	88,15	1:2,29
10/11/2016	29,08	85,92	1: 2,95
14/11/2016	18,75	86,21	1:4,60
18/11/2016	42,04	91,98	1:2,19
22/11/2016	36,29	87,26	1:2,40
26/11/2016	47,08	91,87	1: 1,95
30/11/2016	24,75	88,93	1:3,59

Fuente: (Elaboración propia)



Composición Mineralógica PM₁₀

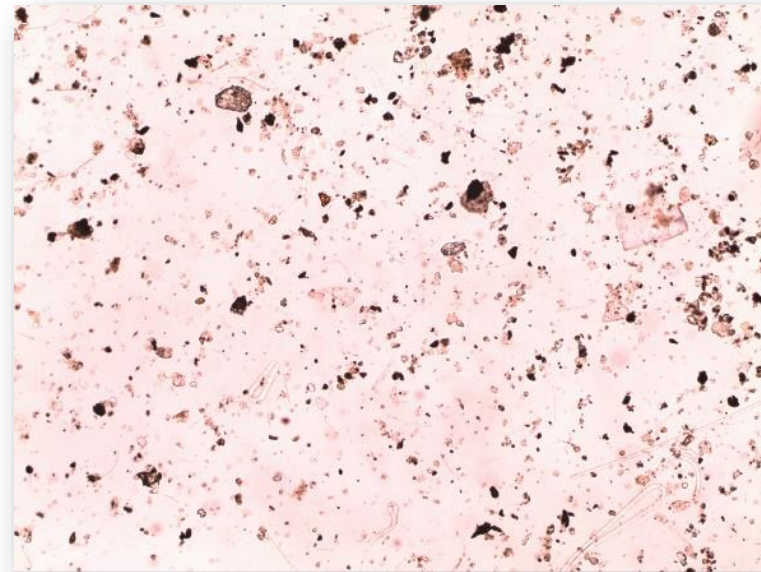
Las partículas minerales identificadas en el filtro analizado son:

Cuarzo, Anfíboles, Fitolitos y Piroxenas.

Evidencia



Cristalinas



Opacas



UNMIX 6.0

Data Processing - EPA Unmix 6.0

File Species Points and Observations About

Process Input Data

Input Filename: C:\Program Files (x86)\EPA Unmix 6.0\Data\umpndata 2.txt

Included Species

Name	NObs	Mean	STD	SD
MASS	4	11476.00	3336.00	3853.94
PM10	24	31.35	8.02	9.35
S.SED	24	117.47	62.99	161.30
AL	24	15.80	0.00	0.00
K	24	10.00	0.00	0.00
FE	24	0.19	0.00	0.00
CA	24	1.80	0.00	0.00
SO4	24	0.20	0.00	0.00
NO2	24	0.40	0.00	0.00

Excluded Species

Exclude Include

View/Edit Points and Observations

Select One

Do not replace or use highlighted species

Replace Missing Values

Suggest Exclusion

Restore Original Data

Save Input Data

Cancel OK

Analysis Results

***** Run # 1 *****

03-May-2018 15:02:46

File: C:\Program Files (x86)\EPA Unmix 6.0\Data\umpndata 2.txt

Tracer: None

TOTAL: None

Normalization: None

11 Species, 368 Obs., 5 Sources,

Min Rsq = 0.96, Min Sig/Noise= 2.65

Unmix Source Composition

Species	Source 1	Source 2	Source 3	Source 4	Source 5
MASS	3.13e+003	2.58e+003	1.29e+003	4.52e+003	3.8e+003
PM10	19.1	33.4	4.73	14.9	140
S.SED	49	88.3	16.9	62.5	361
AL	13.4	331	8.88	80.9	38.8
K	59.6	15	3.54	11	61.4
FE	19.1	32.9	8.94	34.8	126
CA	0.804	2.94	1.95	3.3	10
SO4	0.441	0.42	1.67	4.36	3.32
NO2	23.2	20.6	26.5	90.6	117
NA	1.36	1.84	16	7.12	1.26

ELAPSED TIME = 0 MINUTES 2.0 SECONDS

***** Run # 2 *****

03-May-2018 15:16:34

File: C:\Program Files (x86)\EPA Unmix 6.0\Data\umpndata 2.txt

Tracer: None

TOTAL: None

Normalization: None

11 Species, 368 Obs., 5 Sources,

Min Rsq = 0.96, Min Sig/Noise= 2.64

Unmix Source Composition

Species	Source 1	Source 2	Source 3	Source 4	Source 5
MASS	3.13e+003	2.58e+003	1.29e+003	4.52e+003	3.8e+003
PM10	19.1	33.4	4.73	14.9	140
S.SED	49	88.3	16.9	62.5	361
AL	13.4	331	8.88	80.9	38.8
K	59.6	15	3.54	11	61.4
FE	19.1	32.9	8.94	34.8	126
CA	0.804	2.94	1.95	3.3	10
SO4	0.441	0.42	1.67	4.36	3.32
NO2	23.2	20.6	26.5	90.6	117
NA	1.36	1.84	16	7.12	1.26



Comparación de resultados y valores normativos

PARAMETRO	REFERENCIA	VALOR	RESULTADO	CUMPLE		OBSERVACIONES
				SI	NO	
Aluminio	Plan decenal descontaminación Bogotá (Alcaldía Mayor de Bogota, 2008)	2,58 µg/m ³ (24 Horas)	15,76 µg/m ³ (24 Horas)		X	El valor obtenido sobrepasa el valor guía debido a que en la zona hay reducción primaria de aluminio
Calcio	Plan decenal descontaminación Bogotá (Alcaldía Mayor de Bogota, 2008)	3,52 µg/m ³ (24 Horas)	1,85 µg/m ³ (24 Horas)	X		El valor de calcio es menor al valor guía establecido por lo que cumple
Potasio	Plan decenal descontaminación Bogotá (Alcaldía Mayor de Bogota, 2008)	0,61 µg/m ³ (24 Horas)	10,02 µg/m ³ (24 Horas)		X	Sobrepasa el valor guía debido a que en la zona se encuentra industrias con sistema de secado
Hierro	Plan decenal descontaminación Bogotá (Alcaldía Mayor de Bogota, 2008)	1,93 µg/m ³ (24 Horas)	0,18 µg/m ³ (24 Horas)	X		El valor del hierro es menor al valor guía establecido por lo que cumple
Sodio	Plan decenal descontaminación Bogotá (Alcaldía Mayor de Bogota, 2008)	0,93 µg/m ³ (24 Horas)	31,83 µg/m ³ (24 Horas)		X	El valor sobrepasa ya que en la zona se encuentran hornos de calcinación
Sulfatos	Tesis Ramos (Ruiz, 2006)	25 µg/m ³ (24 Horas)	0,2 µg/m ³ (24 Horas)	X		El valor los sulfatos es menor al valor guía establecido por lo que cumple
Nitratos	Tesis Venezuela (Martinez, 2006)	200 µg/m ³ (24 Horas)	0,403 µg/m ³ (24 Horas)	X		El valor de los nitratos es menor al valor guía establecido por lo que cumple
PM10	(Organización Mundial de la Salud [OMS], 2005) (Ver tabla No.10)	50 µg/m ³ (24 Horas)	31,36 µg/m ³ (24 Horas)	X		El valor del hierro es menor al valor guía establecido por lo que cumple
Solidos Sedimentables	(Organización Mundial de la Salud [OMS], 2005) (Ver Tabla No.2)	0,5 mg/cm ² (mes)	16,75 mg/cm ² (mes)		X	El valor de solidos sedimentables sobrepasa la norma debido a que en la zona se encuentra en ampliación, y al estar en pie de monte se genera una resuspensión de partículas; también influye las emisiones de las fuentes fijas y móviles.
	ARGENTINA (Ver Tabla No.2)	1 mg/cm ² (mes)			X	
	ESPAÑA (Ver Tabla No.2)	0,9 mg/cm ² (mes)			X	
	ECUADOR (Ver Tabla No.2)	1 mg/cm ² (mes)			X	

Fuente: (Elaboración propia)



Conclusiones

- Se efectuó el diagnóstico de las fuentes fijas y móviles de las emisiones presentes en la zona de estudio, en donde se encontró que las emisiones por fuentes móviles son principalmente causadas por automóviles particulares, sobre la calle 183 ya que esta se encuentra en ampliación, por lo que hay una resuspensión del material particulado y sedimentable; en cuanto a las fuentes fijas, se le atribuye las emisiones principalmente a las industrias de extracción de material de construcción siendo estas SILICAL LTDA y CEMEX DE COLOMBIA, las cuales son las más cercanas a la zona de estudio, y por estar ubicadas cercanas al piedemonte, áreas sin cobertura vegetal, se generan en ellas importantes aportes de PM_{10} sobre la zona de estudio.
-



Conclusiones

- En la evaluación de las concentraciones de PM_{10} en la estación de muestreo, se establece que los niveles de dicho contaminante cumplen plenamente con la norma de la calidad de aire de un periodo de 24 horas, establecida en la Resolución 2254 de 2017.
 - En la composición mineralógica de PM_{10} , predominan los siguientes compuestos Cuarzo, Anfíboles y Piroxenas. Se encontró una mayor concentración de partículas de cuarzo, el cual se puede originar por las extracciones de la empresa SILICAL LTDA y las actividades mineras que particulares desarrollan en la zona de piedemonte.
-



Conclusiones

- El modelo seleccionado para la correlación de variables UNMIX 6.0, permite la identificación y cuantificación de los datos, basándose en el tipo de fuente y la cantidad de especies seleccionadas, por lo que a mayor número de especies más preciso son los conjuntos de datos. La presencia de NO_x y SO_x indican la alta influencia de las Fuentes Móviles en la calidad del aire por motores a gasolina.
- Por medio de los datos obtenidos (fisicoquímicos y mineralógicos), de los muestreadores situados en la zona de estudio, siendo el Hi-Vol, el equipo de medición de calidad del aire, las industrias cuya actividad corresponden principalmente a la extracción de piedra, grava, gravilla y arena, por lo que las industrias SILICAL Ltda. (Ladrillera) y CEMEX de Colombia, como fuentes fijas, son las que más aportan a dichas emisiones.



Recomendaciones

- Realizar otros estudios de calidad del aire en la zona del proyecto en los que se analicen la composición granulométrica y fisicoquímica de material particulado en suspensión a fin de establecer nuevos parámetros de correlación entre las diferentes variables ambientales.
 - Debido a la inexistencia de valores normativos para los niveles de SST y los metales pesados evaluados en el proyecto, y otros metales pesados, se recomiendan que las autoridades ambientales en las próximas modificaciones de las normas consideren la inclusión de tales parámetros poder tener así una normatividad más completa en el recurso aire.
-



Recomendaciones

- En la aplicación es necesario contar con datos actualizados, debido a que este proyecto tiene como guía los datos de secretaria de movilidad de 2016, ya que no se cuenta con datos actuales por parte de la entidad, para la comparación y análisis de resultados.
 - Para una adecuada aplicación del modelo UNMIX 6.0 se recomienda obtener mayor número de muestras de los metales evaluados u otros que se consideren de interés.
-



Bibliografía

- Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito. (2017). Geo portal. Obtenido de <https://www.ideca.gov.co/>
- Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. (2016). IDEAM. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2017). Informe de resultados Laboratorio Nacional de Suelos. Bogotá.
- Instituto Nacional de Ecología [INE]. (2013). Manual de principios de medición de la calidad del aire. En Manual de principios de medición de la calidad del aire (págs. 18-19).
- Laboratorio Instrumental de Alta Complejidad [LIAC]. (2017). INFORME DE RESULTADOS. Bogotá: Universidad de la Salle.
- Martínez. (2006). PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES Y CONTENIDO DE NITRATO, CLORURO Y SULFATO EN EL AIRE DE DOS ZONAS DE VALENCIA. Carabobo: Universidad de Carabobo Venezuela.
- Ministerio de Ambiente vivienda y Desarrollo Territorial . (2008). Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. En Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire (pág. 160). Bogotá.
- Mogollón, C. (2014). EVALUACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE PLOMO, CADMIO Y CROMO CONTENIDO EN EL MATERIAL. Bogotá: Universidad de la Salle.
- Placeres, M. R. (2004). Salud Pública de México. Ciudad de México: the University of California.
- Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá. (2016). RMCAB. Obtenido de <http://ambientebogota.gov.co/red-de-calidad-del-aire>
- Rodríguez, A. C. (2008). DETERMINACIÓN Y CORRELACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO Y GASES. Bogotá: Universidad de La Salle.
- Ruiz, C. (2006). CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO EN. Bogotá: Universidad de Los Andes.
- Salazar, A., & Guzmán, C. (2012). CARACTERIZACIÓN DE LA DEPOSICIÓN DE PARTÍCULAS EN LOS CORREDORES VIALES DE TRANSMILENIO AV. BOYACÁ (EN PROYECTO) Y CARRERA 30. Bogotá: Universidad de La Salle.
- Secretaría Distrital de Ambiente [SDA]. (2009). Plan Decenal de descontaminación de Bogotá . Bogotá: Universidad de Los Andes.
- Secretaria Distrital de Movilidad. (2015). Bogotá.
- Hernández, Y. A. (2007). *Metales Pesados Presentes en la Contaminación del Aire y sus Efectos*. Bogotá: Universidad de la Salle.
- IDEAM. (2016). IDEAM. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/>

Polucion en las capitales



GRACIAS