

**CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE
BUCARAMANGA**

**FUNDACIÓN OFTALMOLÓGICA DE SANTANDER – CLÍNICA CARLOS ARDILA LULLE
FOSCAL
OBSERVATORIO DE SALUD PÚBLICA DE SANTANDER**

**INFORME FINAL DEL CONVENIO ESPECIAL DE COOPERACIÓN CIENTÍFICA Y
TECNOLÓGICA No. 033 DE 2009 SUSCRITO ENTRE EL MINISTERIO DE AMBIENTE,
VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, LA FUNDACIÓN OFTALMOLÓGICA DE
SANTANDER – CLINICA CARLOS ARDILA LULLE (FOSCAL), LA CORPORACIÓN
AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA
(CDMB) Y LA SECRETARIA DE SALUD Y AMBIENTE DE BUCARAMANGA (SSAB)**

BUCARAMANGA, NOVIEMBRE DE 2010

CONTENIDO

1. Introducción

2. Objetivos específicos

3. Metodología

4. Resultados

4.1. Análisis de la dinámica de fuentes fijas y móviles de contaminación atmosférica alrededor de las estaciones de monitoreo ambiental

4.2. Caracterización físico-química de los contaminantes que contienen las partículas de PM10 obtenidas de las estaciones de monitoreo ambiental

4.3. Análisis de la relación de la concentración de material particulado en exteriores e interiores y la exposición personal.

4.4. Análisis de los efectos de la contaminación por PM10 sobre la ocurrencia de síntomas respiratorios en población sensible

4.5. Determinación de la presencia del nivel umbral de concentración de PM10 para la aparición o exacerbación de síntomas en poblaciones de riesgo en salud.

5. Informe financiero

6. Conclusiones

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Promedio fuentes móviles en punto de monitoreo en barrio La Joya

Figura 2. Promedio fuentes móviles en punto de monitoreo en zona Norte

Figura 3. Promedio fuentes móviles en punto de monitoreo en barrio Cabecera

Figura 4. Promedio fuentes móviles en punto de monitoreo en barrio Centro

Figura 5. Promedio fuentes móviles en punto de monitoreo en barrio Molinos

Figura 6. Promedio fuentes móviles en punto de monitoreo en Diagonal 15 Carrera 17

Figura 7. Relación entre el número de y la concentración de monóxido de carbono en la estación Centro

Figura 8. Relación entre el número de camiones y la concentración de material particulado en la estación Centro

Figura 9. Relación entre el número de buses y la concentración de material particulado en la estación Centro

Figura 10. Relación entre el número de motos y la concentración de monóxido de carbono en la estación Centro

Figura 11. Relación entre el número de taxis y la concentración de óxido de nitrógeno en la estación Centro

Figura 12. Relación entre el número de taxis y la concentración de dióxido de azufre en la estación Centro

Figura 13. Relación total vehículos y concentración de material particulado en estación Centro

Figura 14. Relación entre el número de autos y la concentración de monóxido de carbono en la estación Cabecera

Figura 15. Relación entre el número de motos y la concentración de monóxido de carbono en la estación Cabecera

Figura 16. Relación entre el número de taxis y la concentración de óxido de nitrógeno en la estación Cabecera

Figura 17. Relación entre el número de camiones y la concentración de dióxido de azufre en la estación Cabecera

Figura 18. Relación total vehículos y concentración de monóxido de carbono en estación Cabecera

Figura 19. Rosas de vientos Zona Norte

Figura 20. Precipitación Zona Norte

Figura 21. Temperatura Zona Norte

Figura 22. Rosas de vientos Zona Centro

Figura 23. Precipitación Zona Centro

Figura 24. 1 Temperatura Zona Centro

Figura 25. Rosa de vientos Zona Sur

Figura 26. Precipitación Zona Sur

Figura 27. Temperatura Zona Sur

Figura 28. Resultados Iones-Metales San Miguel

Figura 29. Resultados Iones-Metales La Joya

Figura 30. Resultados Iones-Metales Ricaurte

Figura 30. Resultados Iones-Metales Ricaurte

Figura 31. Proporciones promedio Iones-Metales AMB

Figura 32. Proporciones promedio Iones-Metales por Zonas

Figura 33. Comparaciones Resultados Iones

Figura 34. Comparaciones Resultados Metales

Figura 35. Resultados PAHs San Miguel

Figura 36. Resultados PAHs La Joya

Figura 37. Resultados PAHs Ricaurte

Figura 38. Resultados PAHs Cañaveral

Figura 39. Proporciones promedio PAHs AMB

Figura 40. Proporciones promedio PAHs por Zonas

Figura 41. Comparaciones Resultados PAHs

Figura 42. Resultados promedios diarios BC Centro

Figura 43. Resultados promedios horarios BC Centro

Figura 44. Comparación resultados promedios horarios BC y PM10 Centro

Figura 45. Comparaciones Resultados EC/OC

Figura 46. Proporciones promedio Especies AMB

Figura 47. Factores PM10 en modelo PMF

Figura 48. Residuales PM10 PMF

Figura 49. Correlación PM10 PMF

Figura 50. Comparación serie de tiempo PM10 PMF

Figura 51. Residuales Cloruro PMF

Figura 52. Correlación Cloruro PMF

Figura 53. Comparación serie de tiempo Cloruro PMF

Figura 54. Fuentes PM10 UNMIX

Figura 55. Correlación y comparación PM10 UNMIX

Figura 56. Correlación y comparación Amonio UNMIX

Figura 57. Residuales PM10 y otras especies UNMIX

Figura 58. Comparaciones resultados modelos PMF y UNMIX

Figura 59. Concentración de PM10 barrio Centro, Noviembre 2009-Mayo 2010

Figura 60. Índice de calidad del aire de PM10 en zona centro

Figura 61. Concentración de interior y exterior de PM10 barrio Centro, Noviembre 2009-Mayo 2010

Figura 62. Concentración de interior y exterior de PM10 Diagonal 15, Noviembre 2009-Mayo 2010

Figura 63. Concentración de interior y exterior de PM10 barrio Molinos, Noviembre 2009-Mayo 2010

Figura 64. Índice de calidad del aire de PM10 en barrio Molinos

Figura 65. Concentración de interior y exterior de PM10 barrio Molinos, 2010

Figura 66. Concentración mensual PM10 barrio Ciudadela, Noviembre 2009-Mayo 2010

Figura 67. Índice de calidad del aire de PM10 en zona Ciudadela Real de Minas

Figura 68. Concentración PM10 barrio Ricaurte, Noviembre 2009-Mayo 2010

Figura 69. Concentración PM10 barrio Cabecera, Noviembre 2009-Mayo 2010

Figura 70. Índice de calidad del aire de PM10 en barrio Cabecera

Figura 71. Concentración PM10 barrio Cabecera, Noviembre 2009-Mayo 2010

Figura 72. Concentración de interior y exterior de PM10 barrio La Joya, 2010

Figura 73. Índice de calidad del aire de PM10 en barrio La Joya

Figura 74. Concentración PM10 barrio Kennedy, Noviembre 2009-Mayo 2010

Figura 75. Concentración de interior y exterior de PM10 barrio Kennedy, 2010

Figura 76. Gráfica de Bland y Altman de reproducibilidad concentraciones interiores y exteriores en barrio Centro, Bucaramanga 2010

Figura 77. Gráfica de Bland y Altman de reproducibilidad concentraciones interiores y exteriores en barrio Cabecera, Bucaramanga 2010

Figura 78. Gráfica de Bland y Altman de reproducibilidad concentraciones interiores y exteriores en barrio Molinos, Bucaramanga 2010

Figura 79. Gráfica de Bland y Altman de reproducibilidad concentraciones interiores y exteriores en barrio La Joya, Bucaramanga 2010

Figura 80. Incidencia diaria de síntomas vs concentración promedio diaria de PM10, Bucaramanga 2009-2010

Figura 81. Incidencia diaria de síntomas vs concentración promedio diaria de PM10 en zona de alta contaminación, Bucaramanga 2009-2010

Figura 82. Incidencia diaria de síntomas vs concentración promedio diaria de PM10 en zona de contaminación media, Bucaramanga 2009-2010

Figura 83. Incidencia diaria de síntomas vs concentración promedio diaria de PM10 en zona de baja contaminación, Bucaramanga 2009-2010

Figura 84. Incidencia diaria de síntomas por día y precipitación en zona alta de contaminación, Bucaramanga 2009-2010

Figura 85. Incidencia diaria de síntomas por día y temperatura en zona baja de contaminación, Bucaramanga 2009-2010

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Inventario de fuentes móviles en punto de monitoreo en barrio La Joya
- Tabla 2. Inventario de fuentes móviles en punto de monitoreo en Hospital del Norte
- Tabla 3. Inventario de fuentes móviles en punto de monitoreo en barrio Cabecera
- Tabla 4. Inventario de fuentes móviles en punto de monitoreo en barrio Centro
- Tabla 5. Inventario de fuentes móviles en punto de monitoreo en barrio Lagos
- Tabla 6. Inventario de fuentes móviles en punto de monitoreo en Diagonal 15 Carrera 17
- Tabla 7. Relación de los filtros analizados en el estudio
- Tabla 8. Métodos y límites detectables especies Iones-Metales
- Tabla 9. Parámetros estadísticos Iones-Metales San Miguel ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Tabla 10. Parámetros estadísticos Iones-Metales La Joya ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Tabla 11. Parámetros estadísticos Iones-Metales Ricaurte ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Tabla 12. Parámetros estadísticos Iones-Metales Cañaveral ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Tabla 13. Parámetros estadísticos Iones-Metales AMB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Tabla 14. Parámetros estadísticos PAHs San Miguel ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Tabla 15. Parámetros estadísticos PAHs La Joya ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Tabla 16. Parámetros estadísticos PAHs Ricaurte ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Tabla 17. Parámetros estadísticos PAHs Cañaveral ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Tabla 18. Parámetros estadísticos PAHs AMB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Tabla 19. Proporciones PMF y UNMIX
- Tabla 20. Ubicación de equipos en el centro de Bucaramanga

Tabla 21. Ubicación de equipos en el barrio San Miguel de Bucaramanga

Tabla 22. Ubicación de equipos en los barrios Cañaveral y Molinos Altos de Floridablanca

Tabla 23. Ubicación de equipos en los barrios Real de Minas y Ricaurte de Bucaramanga

Tabla 24. Ubicación de equipos en el barrio Cabecera del Llano de Bucaramanga

Tabla 25. Ubicación de equipos en el barrio La Joya de Bucaramanga

Tabla 26. Ubicación de equipos en el barrio El Kennedy de Bucaramanga

Tabla 27. Índices de reproducibilidad de concentraciones de PM10 en interiores y exteriores, Bucaramanga, 2010

Tabla 28. Características socio-demográficas de la población de estudio. Bucaramanga, Colombia, 2009.

Tabla 29. Contaminantes dentro y alrededor de las viviendas de la población de estudio. Bucaramanga, Colombia, 2009

Tabla 30. Antecedentes personales de enfermedad diagnosticada de la población de estudio. Bucaramanga, Colombia, 2009

Tabla 31. Síntomas respiratorios en niños menores de un año medidos por cuestionario del Estudio Internacional de Sibilancias en Lactantes (EISL), por zonas Bucaramanga, 2009

Tabla 32. Síntomas respiratorios en niños de uno a catorce años medidos por cuestionario ISAAC, por zonas Bucaramanga, 2009

Tabla 33. Síntomas respiratorios en adultos a partir de los 15 años medidos por cuestionario IUATLD, por zonas Bucaramanga, 2009

Tabla 34. Participantes en estudio de seguimiento según zonas Bucaramanga, 2009-2010

Tabla 35. Tasas de incidencia de síntomas irritativos y respiratorios según zonas de contaminación, Bucaramanga 2009-2010

Tabla 36. Razones de tasas de incidencia de síntomas irritativos y respiratorios según zonas de contaminación, Bucaramanga 2009-2010

Tabla 37. Tasas de incidencia de síntomas irritativos y respiratorios según zonas observadas de contaminación, Bucaramanga 2009-2010

Tabla 38. Razones de tasas de incidencia de síntomas irritativos y respiratorios según zonas observadas de contaminación, Bucaramanga 2009-2010

Tabla 39. Variables potencialmente confusoras del efecto sobre la incidencia de síntomas respiratorios en población sensible, Bucaramanga 2009-2010

Tabla 40. Modelo multivariado multinivel de síntomas respiratorios en zonas de diferente nivel de contaminación atmosférica, Bucaramanga 2009-2010

Tabla 41. Modelo tipo panel para el total de síntomas y concentraciones diarias de PM10, Bucaramanga 2009-2010

INFORME FINAL DEL CONVENIO ESPECIAL DE COOPERACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA No. 033 DE 2009 SUSCRITO ENTRE EL MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, LA FUNDACIÓN OFTALMOLÓGICA DE SANTANDER – CLINICA CARLOS ARDILA LULLE (FOSCAL), LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA (CDMB) Y LA SECRETARIA DE SALUD Y AMBIENTE DE BUCARAMANGA (SSAB)

1. INTRODUCCIÓN

El objeto del presente convenio es la cooperación científica y tecnológica entre el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, La FOSCAL Fundación Oftalmológica de Santander – Clínica Carlos Ardila Lulle, la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) y La Secretaría de Salud y Ambiente de Bucaramanga, para adelantar el proyecto de investigación (estudio epidemiológico) de los efectos de la contaminación del aire sobre la salud de poblaciones sensibles con el propósito de determinar alertas epidemiológicas-ambientales y orientar los planes de mejoramiento de la calidad del aire a mediano y largo plazo en la ciudad de Bucaramanga (Fase II) .

Teniendo en cuenta las responsabilidades asumidas por cada una de las partes, La Fundación Oftalmológica de Santander – Clínica Carlos Ardila Lulle - FOSCAL, como ejecutora del convenio entrega el presente informe final de ejecución del convenio.

2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 2.1. Análisis de la dinámica de fuentes fijas y móviles de contaminación atmosférica alrededor de las estaciones de monitoreo ambiental
- 2.2. Caracterización físico-química de los contaminantes que contienen las partículas de PM10 obtenidas de las estaciones de monitoreo ambiental
- 2.3. Análisis de la relación de la concentración de material particulado en exteriores e interiores y la exposición personal.
- 2.4. Análisis de los efectos de la contaminación por PM10 sobre la ocurrencia de síntomas respiratorios en población sensible
- 2.5. Determinar la presencia del nivel umbral de concentración de PM10 para la aparición o exacerbación de síntomas en poblaciones de riesgo en salud

3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de los objetivos propuestos se utilizaron metodologías mixtas de observación y análisis que se describen a continuación:

3.1. Metodología para el monitoreo y análisis de fuentes fijas y móviles alrededor de puntos de monitoreo ambiental en la ciudad de Bucaramanga

Teniendo en cuenta que el presente estudio hace parte de la cooperación conjunta entre el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, la Secretaría de Salud y Ambiente, La Fundación Oftalmológica de Santander - Observatorio de Salud Pública de Santander y la Corporación Autónoma para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) en cumplimiento de su responsabilidad de velar por la calidad del aire del municipio, el diseño del estudio se realizó con asesoría de los funcionarios de la CDMB pertenecientes a la coordinación de monitoreo de la calidad del aire.

En primer lugar, se diseñaron y ajustaron los instrumentos de registro de la información para fuentes fijas y para fuentes móviles y se establecieron las necesidades de personal para desarrollar el conteo en los seis puntos de monitoreo ambiental con los siguientes criterios:

1. Monitoreo diario de fuentes móviles entre 6:30 am hasta las 8:30 pm en dos turnos de personal (6:30 am a 1:30 pm y 1:30 pm a 8:30 pm). En total se contrataron a 38 personas para realizar esta actividad.
2. Registro de autos, taxis, buses, motos y camiones (fuentes móviles) en número de unidades por separado contadas en intervalos de 15 minutos. En el anexo 1 se encuentra uno de los formatos utilizados en campo.
3. Definición de los sentidos de la observación de acuerdo con la dirección del tránsito vehicular.
4. Duración del monitoreo: 14 horas diarias por 7 días continuos.
5. Inventario de fuentes fijas de contaminación alrededor del punto de monitoreo.

Posteriormente se realizó la capacitación al personal seleccionado para realizar el monitoreo que fue distribuido en los siguientes sitios de monitoreo: Centro, Carrera 17 con Diagonal 15, La Joya, Molinos Altos, Hospital local del Norte y Cabecera. Los sitios de monitoreo

corresponden a los puntos de la ciudad en los que la red de monitoreo de calidad del aire de la CDMB posee estaciones automáticas y manuales de monitoreo meteorológico y de contaminantes ambientales, principalmente de PM₁₀, ozono troposférico, CO, NO_x y SO₂.

En cada punto de monitoreo se establecieron los sentidos de flujo vehicular y de esta manera se establecieron los siguientes sentidos de observación:

Sitios de monitoreo y sentidos de la observación.

Punto de Monitoreo	Sentidos de la observación
Centro (Cra 15 con calle 34)	Norte – Sur Sur – Norte Occidente – oriente
Cra 17 con Diagonal 15 y calle 50	Norte – Sur Cra 17 Sur – Norte Cra 17 Norte – Sur Cra 15 Sur – Norte Cra 15
La Joya (Cra 11 occidente con calle 36),	Norte – Sur
Molinos Altos (Edificio Telebucaramanga zona sur)	Norte – Sur Sur – Norte
Norte: Hospital Local del Norte	Norte – Sur
Cabecera del Llano Calle 45 con Cra 36	Norte – Sur Occidente – oriente

En cada sentido del monitoreo se estableció un observador entrenado para el conteo de fuentes móviles discriminando el tipo de fuente. Dado que el tiempo de observación diaria fue de 14 horas, en cada punto y sentido de observación se designó a más de un observador diario con el fin de garantizar la calidad de la información y disminuir los errores de conteo o registro debido a agotamiento (ver anexo 2).

De cada sitio de monitoreo y sentido de la observación se realizó un conteo y promedio de fuentes por tipo de vehículo y un promedio de vehículos por hora como una medida de resumen del flujo de fuentes.

Adicionalmente, se realizó el inventario de empresas o establecimientos que estuvieran instaladas en el área de influencia de cada estación para determinar fuentes importantes de

contaminación que poseen incidencia sobre la calidad del aire de cada sector. En el anexo 3 se encuentra el formato utilizado en campo para realizar esta actividad.

3.2. Metodología para la caracterización físico-química de los contaminantes que contienen las partículas de PM10 obtenidas de las estaciones de monitoreo ambiental y aplicación de modelos receptor-fuente

En el estudio se tomaron 100 filtros con muestras de PM₁₀ tomadas con equipos de alto volumen y se analizaron 50 muestras para determinar Iones-Metales y 50 para Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAHs). Las muestras se tomaron entre los diversos puntos de estudio, tanto en época seca como de lluvias.

Los siguientes fueron las especies analizadas en los filtros:

Iones (4):

Aniones

- Cl⁻ (Cloruro)
- SO₄⁻² (Sulfato)
- NO₃⁻ (Nitrato)

Cationes

- NH₄⁺ (Amonio)

Metales (7¹):

- SiO₂ (Sílice)
- Ca (Calcio)
- Pb (Plomo)
- Cu (Cobre)
- Fe (Hierro)
- Zn (Zinc)
- Al (Aluminio)

Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos – PAHs (17)

- Acenafteno
- Acenaftileno
- Antraceno
- Benz[a]antraceno

¹ Incluyendo el sílice

- Benzo[a]pireno
- Benzo[b]fluoranteno
- Benzo[g,h,i]perileno
- Benzo[k]fluoranteno
- Criseno
- Dibenzo[a,h]antraceno
- Fluoranteno
- Fluoreno
- Indeno[1,2,3-cd]pireno
- Naftaleno
- Fenantreno
- Pireno
- 2-metilnaftaleno

Las muestras fueron procesadas en el laboratorio de la CDMBy llevadas al laboratorio Químico de Consultas Industriales de la Universidad Industrial de Santander utilizando los métodos de Absorción Atómica, Espectrofotometría, Nefelometría y Electrodo Ion Selectivo.

En el laboratorio de Cromatografía de la misma universidad se realizó análisis de Hidrocarburos Poli aromáticos (PAH) utilizando Cromatografía de gases con detector selectivo de masas (GC-MS).

En el anexo 4 del estudio se pueden consultar los reportes de laboratorio para todas las muestras analizadas.

3.3. Metodología para determinar la concentración atmosférica de PM₁₀ en los sitios de monitoreo establecidos y realizar su análisis

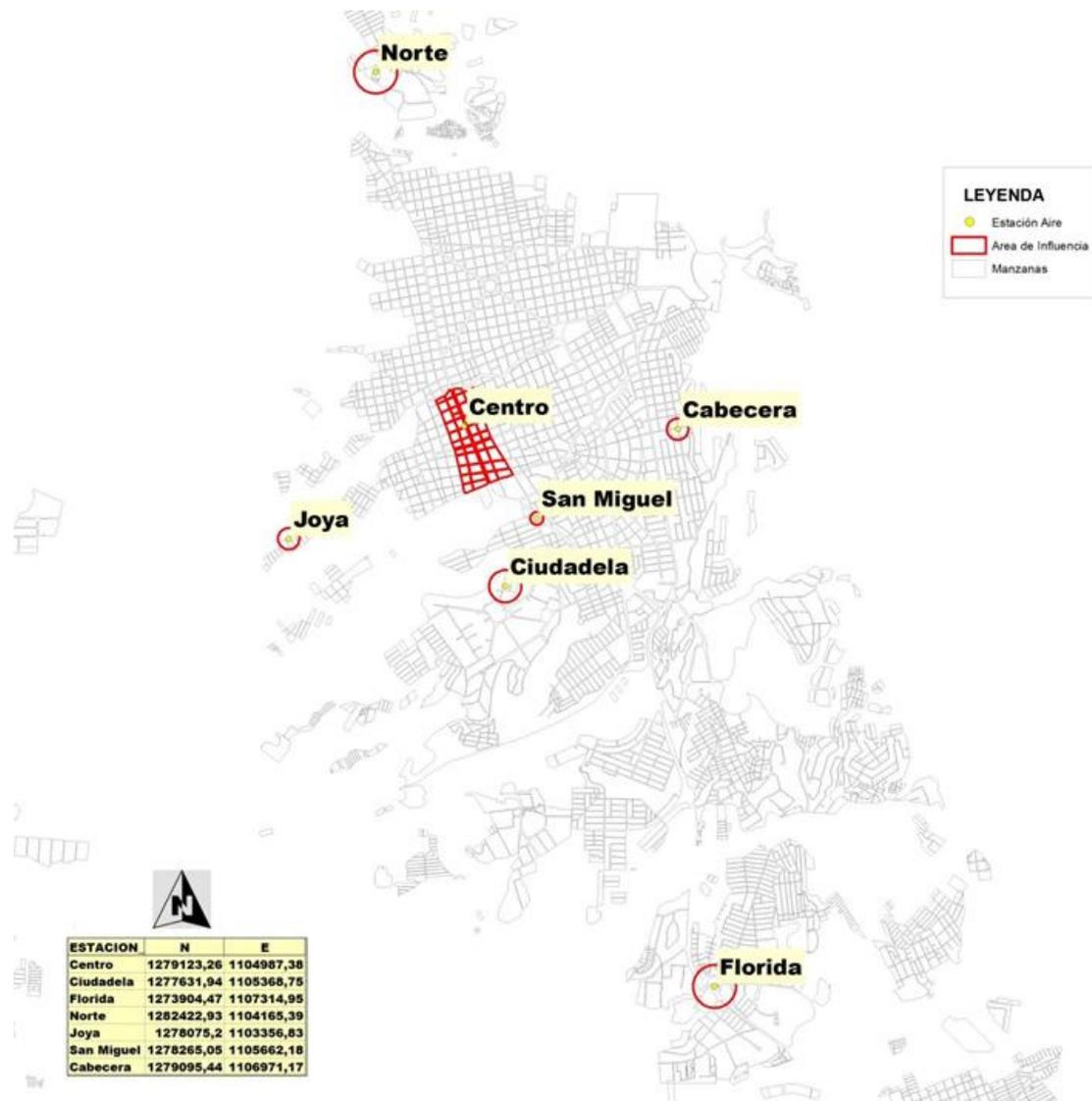
Para la medición del material particulado PM₁₀ durante el periodo de ejecución del Proyecto, se desarrollo la siguiente metodología bajo la coordinación de campo del área ambiental y con apoyo técnico y profesional del equipo de la CDMB:

- **Monitoreo extradomiciliario:** se realizó utilizando las Estaciones Automáticas y manuales que posee la CDMB en siete (7) sitios estratégicos de Bucaramanga y Cañaveral. Adicional a las estaciones del Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire de Bucaramanga, se utilizaron dos (2) equipos para medición de PM₁₀ entregados en comodato por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), los cuales se instalaron directamente sobre las viviendas o locales en donde también se monitoreó la concentración “indoor” de PM₁₀.
- **Monitoreo intradomiciliario:** Se realizaron mediciones de PM₁₀ al interior de las viviendas y locales utilizando cinco (5) equipos, tres (3) automáticos y dos (2) manuales, portátiles entregados por el MAVDT, obteniendo resultados cada hora y promedio de 24 horas. Estos equipos son pequeños, portátiles y de bajo nivel de ruido según el fabricante, sin embargo cuando se instalaron al interior de la vivienda se presentaron una serie de inconvenientes que se detallan en el anexo “operación e instalación de equipos, ventajas y desventajas”.
- **Monitoreo de exposición personal:** Se realizaron mediciones de dosis o exposición personal a PM₁₀ utilizando cinco (5) equipos entregados por el MAVDT, de bajo flujo, los cuales fueron portados por personas en cada zona de monitoreo (alta, media y baja contaminación), buscando que permanecieran la mayor parte de tiempo al interior de su vivienda o local, es decir la mayoría del tiempo respirando el aire que se encuentra en el interior.

Zonas de Monitoreo: basados en la información histórica registrada por el Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Bucaramanga, se definieron las siguientes zonas de monitoreo:

1. **Zona Alta:** Área de influencia de las estaciones Centro y San Miguel, cuyos valores promedios anuales registrados de PM₁₀ respectivamente son 61.67 µg/m³ y 53.69 µg/m³
2. **Zona Media:** Estaciones Ciudadela, Cañaveral, Cabecera y Ricaurte, cuyos valores promedios anuales registrados de PM₁₀ respectivamente son 38.43 µg/m³, 39.46 µg/m³, 53.20 µg/m³ y 46.04 µg/m³.
3. **Zona Baja:** Estaciones La Joya y Norte, cuyos valores promedios anuales registrados de PM₁₀ respectivamente son 31.35 µg/m³ y 46.57 µg/m³

El siguiente plano muestra la ubicación de los sitios de monitoreo de calidad del aire en donde se instalaron los diferentes equipos utilizados para el desarrollo del proyecto:



La población objeto del estudio se localiza en los municipios de Bucaramanga y Floridablanca que presenta morbilidad respiratoria o cardiovascular por lo cual se considera la población más sensible para la afectación en la salud debida a la contaminación atmosférica

1. Estado actual de los equipos: la siguiente tabla muestra el estado de los monitores de partículas que se utilizaron durante el desarrollo del proyecto:

EQUIPO	ESTADO ACTUAL	OBSERVACIONES
Monitor portátil de Carbono Negro, marca MAGEE SCIENTIFIC, Modelo ETALOMETRO A29801	Funcionando correctamente	Ninguna
Muestreador de bajo volumen para Material Particulado, Marca ECOTECH, Modelo MICROVOL A29823	Funcionando correctamente	Ninguna
Muestreador de bajo volumen para Material Particulado, Marca ECOTECH, Modelo MICROVOL A29822	Funcionando correctamente	Ninguna
Muestreador de bajo volumen para Material Particulado, Marca BGI, Modelo OMNI A28114	Funcionando correctamente	Ninguna
Muestreador de bajo volumen para Material Particulado, Marca BGI, Modelo OMNI A28117	Funcionando correctamente	Ninguna
Analizador de bajo volumen para Material Particulado, marca DATARAM A31408	Fuera de operación	Según el análisis de comparación de los 4 DATARAM, este equipo reportó valores bajos de concentración y por lo tanto se decidió no utilizarlo en el proyecto.
Analizador de bajo volumen para Material Particulado, marca DATARAM A31409	Funcionando correctamente	Equipo que operó bien luego de revisión conjunta con MAVDT
Analizador de bajo volumen para Material Particulado,	Funcionando correctamente	Ninguna

marca DATARAM A31410		
Analizador de bajo volumen para Material Particulado, marca DATARAM A31411	Funcionando correctamente	Ninguna

Cuadro 1. Equipos utilizados en el monitoreo de calidad del aire

Con respecto a los seis (6) equipos que fueron utilizados como monitores personales, estos operaron correctamente:

EQUIPO	CANTIDAD	ESTADO ACTUAL
Bombas de muestreo personal con capacidad de 0 a 5 lpm. Marca CASELLA-CEL, modelo APEX-PRO	6	Funcionando correctamente

3.4. Metodología para el desarrollo del estudio epidemiológico para el análisis de los efectos de la contaminación por PM₁₀ sobre la ocurrencia de síntomas respiratorios en población sensible

Tipo de estudio: Estudio analítico de cohortes con recolección prospectiva. Se consideró como exposición, en este diseño, el nivel de contaminación atmosférica en la que residen los participantes medidos por concentración de material particulado PM₁₀ y se consideró como evento de análisis la aparición o exacerbación de síntomas irritativos o respiratorios. Aparición se refiere a síntomas que se reportan como nuevos por la persona (no estaban presentes en la semana anterior) y como exacerbaciones o aumentos en la intensidad o severidad de los síntomas que ya tenía previamente.

Población y muestra: La población objeto del estudio fue la población de Bucaramanga y Floridablanca (Cañaveral), con morbilidad respiratoria o cardiovascular por lo cual se considera población sensible para la afectación en la salud debida a la contaminación atmosférica.

La muestra fue la población sensible que cumplió los criterios de inclusión y que se localiza alrededor de los centros de monitoreo ambiental instalados por la CDMB. Estos sitios de monitoreo corresponden a tres rangos diferentes de concentración de material particulado PM₁₀ de acuerdo con los registros históricos del Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire (entre 20 y 40 entre 40 y 60 y mayor de 60) por lo cual de esta manera se establecerán los grupos de exposición y comparación. La distribución de los puntos de monitoreo según niveles de PM₁₀ son:

Norte (Kennedy) y La Joya: entre 20 y 40 ug/m³ aproximadamente
 Ricaurte, Ciudadela, Florida y Cabecera: entre 40 y 60 ug/m³ aproximadamente
 El Centro y San Miguel: mayor a 60 ug/m³ aproximadamente

Se calculó un tamaño de muestra teniendo en cuenta un poder de 80%, un error alfa de 0,05%, una proporción estimada de síntomas respiratorios en el rango de menor concentración de PM10 de 10% y de 20% en el rango superior, con una relación 1:1 de participantes en cada grupo. Con estos parámetros se calculó una muestra de 219 personas en cada rango al que se adicionó un 20% más por posibles pérdidas en el seguimiento por lo cual se estableció un tamaño de muestra de 260 personas en cada uno de los tres rangos de concentración de material particulado PM10 para un total de 780 personas sensibles alrededor de las 7 estaciones de monitoreo.

El reclutamiento de la población se realizó por medio de un muestreo no probabilístico haciendo búsqueda de elegibles en forma radial (del centro hasta la periferia) partiendo de los puntos de monitoreo de la calidad del aire. Se escogió este tipo de muestreo dada la falta de información geo-referenciada de personas con morbilidad cardiovascular o respiratoria por parte de instituciones y aseguradoras en salud; con esta consideración la estrategia de muestreo más eficiente para evitar introducir un sesgo de selección en los participantes era la búsqueda de elegibles casa a casa en los barrios de estudio.

Criterios de inclusión y exclusión:

Se tomó como población sensible a toda persona alrededor de los centros de monitoreo que cumplieron con alguna de las siguientes condiciones:

1. Niño menor de 12 años con enfermedad cardíaca o respiratoria crónica como asma, enfermedad alérgica (como rinitis o conjuntivitis), historia de síndromes bronco-obstructivos o hiperactividad bronquial.
2. Adulto mayor de 60 años con enfermedad pulmonar crónica o cardiovascular (incluida diabetes) con afectación de cualquier órgano blanco.
3. Persona de cualquier edad con enfermedad pulmonar crónica o cardiovascular (incluida diabetes) con afectación de cualquier órgano blanco.

Se excluyeron del estudio las personas que tengan la necesidad de uso de oxígeno de forma parcial o permanente y aquellas que por sus condiciones mentales no estén en capacidad de responder una entrevista o dar su consentimiento informado.

Variables de estudio

Se tomó como variable de salida o desenlace la presencia de síntomas respiratorios en vía aérea superior e inferior (rinorrea, estornudo, tos seca, tos con flemas, asfixia, ruidos en el pecho) y otros síntomas irritativos (lagrimeo, irritación ocular) y la información de morbilidad respiratoria diagnosticada durante el tiempo de seguimiento (6 meses). Como variable explicatoria se tomó el nivel de inmisión medido como la concentración promedio diaria de material particulado menor o igual a 10 micras reportado por la estación de monitoreo correspondiente a cada zona.

Como posibles variables de confusión se incluyeron el promedio mensual de temperatura, humedad y precipitación de la zona en el mismo periodo de tiempo, las condiciones socioeconómicas y ambientales de la vivienda, el tiempo de residencia en el lugar, hacinamiento, la presencia de animales domésticos en casa, tabaquismo en la vivienda, presencia de actividades de trabajo con emisión de contaminantes dentro de la vivienda o una manzana alrededor, sexo, edad y los antecedentes familiares y personales de enfermedad respiratoria.

Medición del evento y de la exposición

Para la medición del evento se utilizó un sistema de vigilancia activo, es decir se estableció una relación de contacto personal con los participantes en el estudio de manera que se pudieron monitorear de forma continua la presencia del evento mediante una encuesta estructurada inicial con seguimiento de tipo calendario diario de síntomas para cada participante.

Para asegurar la estandarización del proceso de recolección de información, los cuestionarios fueron aplicados por seis (6) encuestadoras (auxiliares de enfermería) previamente capacitadas y entrenadas en la aplicación de los instrumentos. La medición de la exposición ambiental se hizo por medio de equipos manuales y automáticos para el monitoreo de material particulado de acuerdo con la descripción del punto 3.3.

Registro de información y Plan de análisis

Los formatos de seguimiento de la vigilancia activa fueron llevados por auxiliares de campo y se consolidaron y registraron de manera mensual en una base de datos en Microsoft Excel que al finalizar los seis meses de seguimiento se llevó a una base de datos en el programa estadístico Stata 10.0.

Se realizó un análisis descriptivo de los hallazgos por medio de medidas de tendencia central y variabilidad para las variables cuantitativas y proporciones con intervalos de confianza del 95% para las variables discretas. Como medida de frecuencia se determinó la tasa de incidencia de síntomas respiratorios agudos de forma general y por separado para los tres grupos de estudio (tres rangos de concentración de PM_{10}). Para el análisis bivariado se compararon las tasas de incidencia de síntomas respiratorios agudos entre los niveles de contaminación ambiental teniendo como nivel de referencia el nivel con mayor contaminación y se calcularon las tasas relativas (expresadas como riesgos relativos IRR) como medida de asociación. Para analizar el efecto de la contaminación por PM_{10} sobre la incidencia de síntomas diarios se utilizó un análisis de series de tiempo de tipo ARIMA utilizando lags de 1 hasta 5 días para el análisis. Para el análisis bivariado se utilizó una regresión de Poisson para calcular el efecto de otras variables sobre la incidencia de síntomas respiratorios agudos.

Consideraciones éticas

El estudio respetó los principios universales de autonomía, confidencialidad y beneficencia. Los menores de edad que participaron, lo hicieron de manera voluntaria, con autorización de los padres o cuidador, siendo éste un criterio de inclusión. Teniendo en cuenta las definiciones de calificación de riesgo de la resolución 008430 de 1993 del Ministerio de Salud², este estudio es catalogado como sin riesgo dado que se trata de entrevistas que no incluyen examen físico y por lo tanto se obtuvo un consentimiento verbal del adulto y al niño/niña y a su padre/cuidador. Ante la presencia de síntomas respiratorios se orientó a la familia por parte de auxiliares de campo acerca de los cuidados y las indicaciones para acudir a los servicios de salud de acuerdo con su tipo de aseguramiento.

² República de Colombia, Ministerio de Salud. Resolución No. 008430 de 1993 por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud. Santafé de Bogotá, 1993.

4. RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE LA DINÁMICA DE FUENTES FIJAS Y MÓVILES DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA ALREDEDOR DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO AMBIENTAL

4.1.1. Resultados del monitoreo de fuentes móviles

En total se monitorearon seis puntos de la ciudad con 13 sentidos de observación por 7 días a razón de 14 horas/día para un total de 1176 horas de registro de conteo de fuentes móviles. Los registros originales de las observaciones fueron entregados previamente en medio físico a la Secretaría de Salud y Ambiente y las copias fueron entregadas al MAVDT y la FOSCAL. El monitoreo de fuentes móviles se realizó entre el 9 y el 16 de noviembre de 2009. En el mismo periodo de tiempo se realizó el inventario de fuentes fijas.

A continuación se presentan para cada sitio de monitoreo los promedios de fuentes por tipo de vehículo y el promedio de fuentes por hora:

Punto de monitoreo barrio La Joya

El promedio de flujo vehicular por hora en este punto fue entre 90 y 100 vehículos por hora entre semana y sábados y un menor flujo los días domingos. Como se presenta en la tabla inferior la fuente móvil de mayor flujo y contaminación fueron las motos que constituyen casi el 40% del tráfico vehicular.

En este punto de monitoreo se evidenció que el flujo de buses y busetas, que usan principalmente diesel como combustible, constituyen el 16% menor al de otros puntos y que se relaciona con el hallazgo del registro ambiental en el cual este punto de la ciudad presenta los menores niveles de contaminación por material particulado menor de 10 micras (PM₁₀).

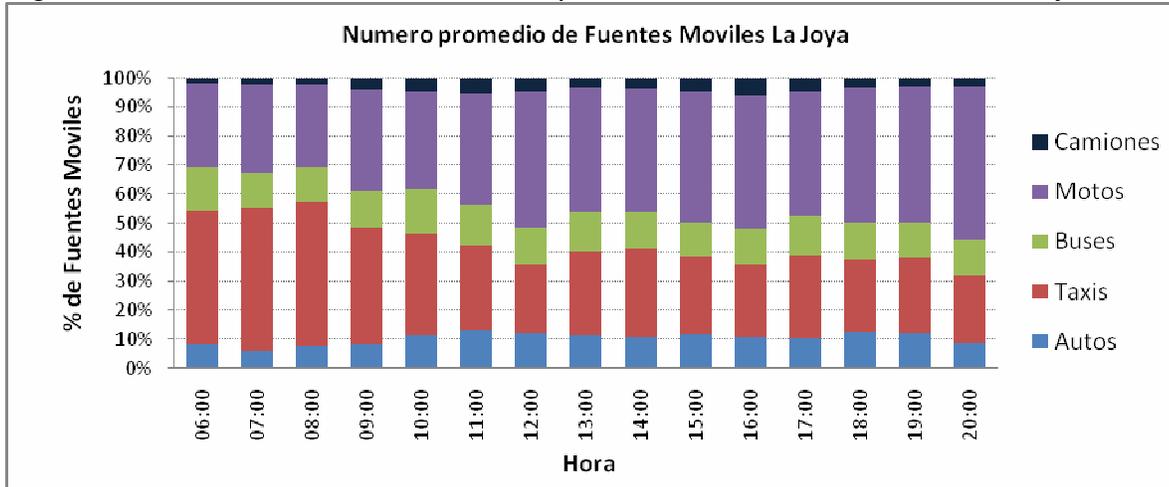
En tabla 1 se observa en detalle la contribución de cada fuente móvil al flujo vehicular de este punto según día de la semana:

Tabla 1 Inventario de fuentes móviles en el punto de monitoreo barrio La Joya.

Estación	LA JOYA						
	UBICACIÓN GENERAL						
Tipo fuente móvil	AUTOS	TAXIS	BUSES(TAS)	MOTOS	CAMIONES	TOTAL	PROMEDIO HORA
Entre semana (No.)	567	1740	854	2133	184	5478	91
Porcentaje	10%	32%	16%	39%	3%	100%	
Sábado (No.)	627	1867	521	2431	175	5621	100
Porcentaje	11%	33%	9%	43%	3%	100%	
Domingo (No.)	454	1330	107	1296	76	3263	58
Porcentaje	14%	41%	3%	40%	2%	100%	

La siguiente grafica muestra el promedio de vehículos, para cada hora de análisis, en toda la semana de monitoreo:

Figura 1. Promedio fuentes móviles en punto de monitoreo en barrio La Joya



Punto de monitoreo Hospital Local del Norte

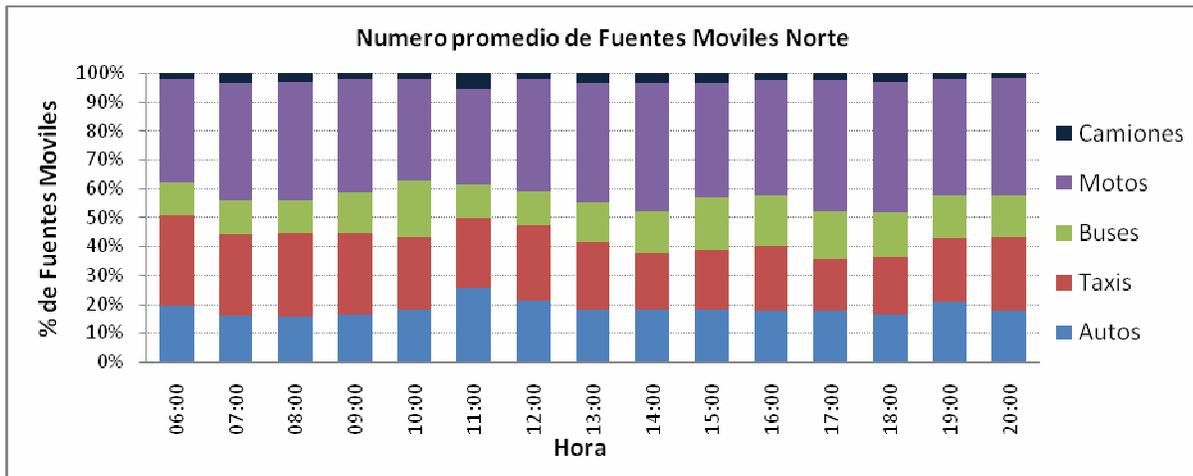
El promedio de flujo vehicular por hora en este punto fue entre 110 y 130 vehículos por hora entre semana y sábados y un menor flujo los días domingos. Como se presenta en la tabla inferior la fuente móvil de mayor flujo y contaminación fueron las motos que constituyen casi el 38% del flujo vehicular.

En este punto de monitoreo se evidenció que el flujo de buses y busetas, que usan principalmente diesel como combustible, constituyen el 14% menor al de otros puntos y que se relaciona con el hallazgo del registro ambiental en el cual este punto de la ciudad es, después, del Barrio La Joya el que presenta los menores niveles de contaminación por material particulado menor de 10 micras (PM₁₀). En la siguiente tabla se observa en detalle la contribución de cada fuente móvil al flujo vehicular de este punto según el día de la semana:

Tabla 2 Inventario de fuentes móviles en el punto de monitoreo Hospital del Norte

Estación	HOSPITAL LOCAL DEL NORTE						TOTAL	PROMEDIO HORA
	UBICACIÓN GENERAL							
Tipo fuente móvil	AUTOS	TAXIS	BUSES(TAS)	MOTOS	CAMIONES			
Entre semana (No.)	1380	2034	1109	2933	342	7798		
Porcentaje	18%	26%	14%	38%	4%	100%	130	
Sábado (No.)	1213	1687	959	2569	189	6617		
Porcentaje	18%	25%	14%	39%	3%	100%	110	
Domingo (No.)	1333	1495	722	2303	143	5996		
Porcentaje	22%	25%	12%	38%	2%	100%	100	

Figura 2. Promedio fuentes móviles en punto de monitoreo en zona Norte



Punto de monitoreo Cabecera

El promedio de flujo vehicular por hora en este punto fue entre 190 y 250 vehículos por hora entre semana y sábados en el sentido norte – sur, que es el que presenta mayor flujo y un menor flujo los días domingos en el sentido occidente - oriente. Como se presenta en la tabla inferior la fuente móvil de mayor flujo fueron los autos que constituyen casi el 43% del flujo vehicular, seguidos por los taxis con un porcentaje del 24%.

En este punto de monitoreo se evidenció además que el flujo de buses y busetas, que usan principalmente diesel como combustible constituye solamente una participación inferior al 5%, el menor registrado en todos los puntos y que se relaciona con el hallazgo del monitoreo ambiental en el cual este punto de la ciudad presenta niveles intermedios de contaminación por material particulado menor de 10 micras (PM₁₀).

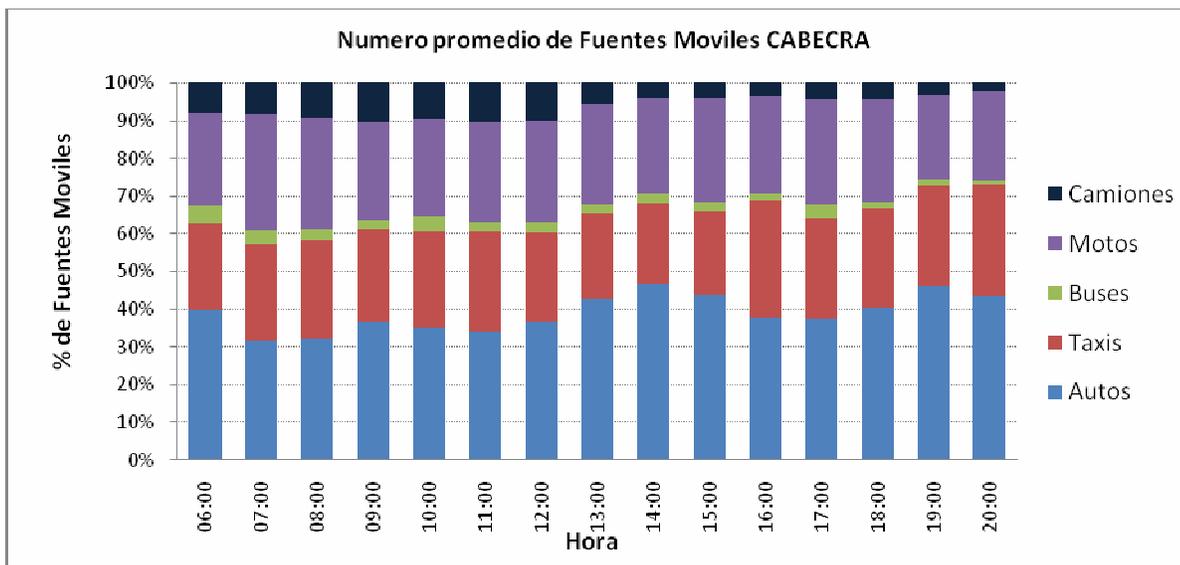
En la siguiente tabla se observa en detalle la contribución de cada fuente móvil al flujo vehicular de este punto según día de la semana y sentido de la observación:

Tabla 3 Inventario de fuentes móviles en el punto de monitoreo barrio Cabecera

Estación	CABECERA						TOTAL	PROMEDIO HORA
	SENTIDO NORTE - SUR							
Tipo fuente móvil	AUTOS	TAXIS	BUSES(TAS)	MOTOS	CAMIONES			
Entre semana (No.)	4082	2777	437	3287	836	11419		
Porcentaje	36%	24%	4%	29%	7%	100%	190	
Sábado (No.)	5977	3873	335	3873	824	14882		
Porcentaje	40%	26%	2%	26%	6%	100%	248	
Domingo (No.)	3762	2258	79	1828	801	8728		
Porcentaje	43%	26%	1%	21%	9%	100%	145	

Estación	CABECERA						
Sentido	SENTIDO OCCIDENTE - ORIENTE						
Tipo fuente móvil	AUTOS	TAXIS	BUSES(TAS)	MOTOS	CAMIONES	TOTAL	PROMEDIO HORA
Entre semana (No.)	4799	3376	527	3430	607	12739	
Porcentaje	38%	27%	4%	27%	5%	100%	212,3
Sábado (No.)	2969	1457	115	1105	777	6339	
Porcentaje	47%	23%	2%	17%	12%	101%	105,7
Domingo (No.)	1724	669	27	434	299	3153	
Porcentaje	55%	21%	1%	14%	9%	100%	52,6

Figura 3. Promedio fuentes móviles en el punto de monitoreo barrio Cabecera



Punto de monitoreo Centro

El promedio de flujo vehicular por hora en este punto estuvo entre 160 y 230 vehículos por hora entre semana y sábados y un menor flujo los días domingos. El sentido de la observación que tuvo mayor flujo de fuentes móviles fue el sentido sur-norte. Como se presenta en la tabla inferior, la fuente móvil de mayor flujo fueron las motos que constituyen casi el 33% del tráfico vehicular, seguido por los taxis con un porcentaje del 29%.

En este punto de monitoreo se evidenció además que el flujo de buses y busetas, que usan principalmente diesel como combustible constituye entre el 27% y 32%, el mayor registrado en todos los puntos y que se relaciona con el hallazgo del registro ambiental en el cual este punto de la ciudad es el que presenta los mayores niveles de contaminación por material particulado menor de 10 micras (PM₁₀).

En la siguiente tabla se observa en detalle la contribución de cada fuente móvil al flujo

vehicular de este punto según día de la semana y sentido de la observación:

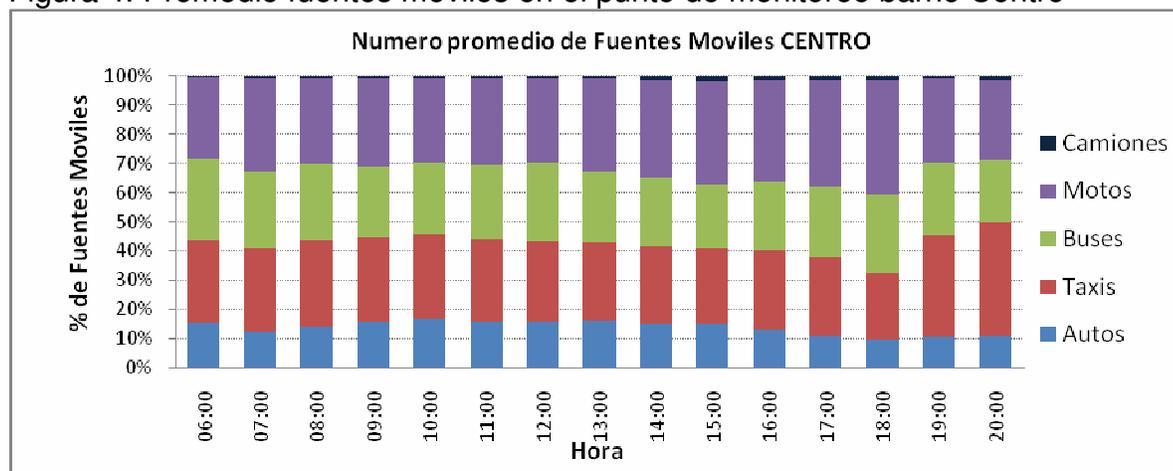
Tabla 4. Inventario de fuentes móviles en el punto de monitoreo barrio Centro

Estación	CENTRO						PROMEDIO HORA
Sentido	NORTE - SUR						
Tipo fuente móvil	AUTOS	TAXIS	BUSES(TAS)	MOTOS	CAMIONES	TOTAL	
Entre semana (No.)	1365	2792	2208	3170	131	9666	161
Porcentaje	14%	29%	23%	33%	1%	100%	
Sábado (No.)	1850	3570	2129	3652	123	11324	202
Porcentaje	16%	32%	19%	32%	1%	100%	
Domingo (No.)	1240	2694	1293	1571	60	6858	132
Porcentaje	18%	39%	19%	23%	1%	100%	

Estación	CENTRO						PROMEDIO HORA
Sentido	SUR - NORTE						
Tipo fuente móvil	AUTOS	TAXIS	BUSES(TAS)	MOTOS	CAMIONES	TOTAL	
Entre semana (No.)	1626	3602	3145	3252	89	11714	195,2
Porcentaje	14%	31%	27%	28%	1%	100%	
Sábado (No.)	1877	4298	2928	3526	185	12814	228,8
Porcentaje	15%	34%	23%	28%	1%	100%	
Domingo (No.)	1356	3225	1923	2223	42	8769	182,7
Porcentaje	15%	37%	22%	25%	0%	100%	

Estación	CENTRO						PROMEDIO HORA
Sentido	OCCIDENTE ORIENTE						
Tipo fuente móvil	AUTOS	TAXIS	BUSES(TAS)	MOTOS	CAMIONES	TOTAL	
Entre semana (No.)	684	1008	1896	2225	72	5885	98,1
Porcentaje	12%	17%	32%	38%	1%	100%	
Sábado (No.)	749	1108	1384	2189	42	5472	97,7
Porcentaje	14%	20%	25%	40%	1%	100%	
Domingo (No.)	302	705	582	711	24	2324	48,4
Porcentaje	13%	30%	25%	31%	1%	100%	

Figura 4. Promedio fuentes móviles en el punto de monitoreo barrio Centro



Punto de monitoreo Molinos Altos

Como sitio de control en otro lugar del área metropolitana se incluyó el punto de Molinos Altos a la altura de la sede de Telebucaramanga. El promedio de flujo vehicular por hora en este punto fue entre 500 y 650 vehículos por hora entre semana y sábados, en el sentido norte - sur y un menor flujo los días domingos. El sentido de la observación que tuvo mayor flujo de fuentes móviles fue el sentido norte- sur. Como se presenta en la tabla inferior las fuentes móviles de mayor flujo fueron las motos y los autos particulares que constituyen el 35.8% y 35.3% del tráfico vehicular respectivamente, seguidos de los taxis (17%).

En este punto de monitoreo se evidenció además que el flujo de buses y busetas, que usan principalmente diesel como combustible constituye entre el 10% y el 13%. Sin embargo a pesar de que existen otros puntos con mayores participaciones de buses y busetas, la gran afluencia de motos en este sitio se relaciona con el hallazgo del registro ambiental en el cual este punto de la ciudad presenta un nivel de contaminación intermedio por material particulado menor de 10 micras (PM₁₀).

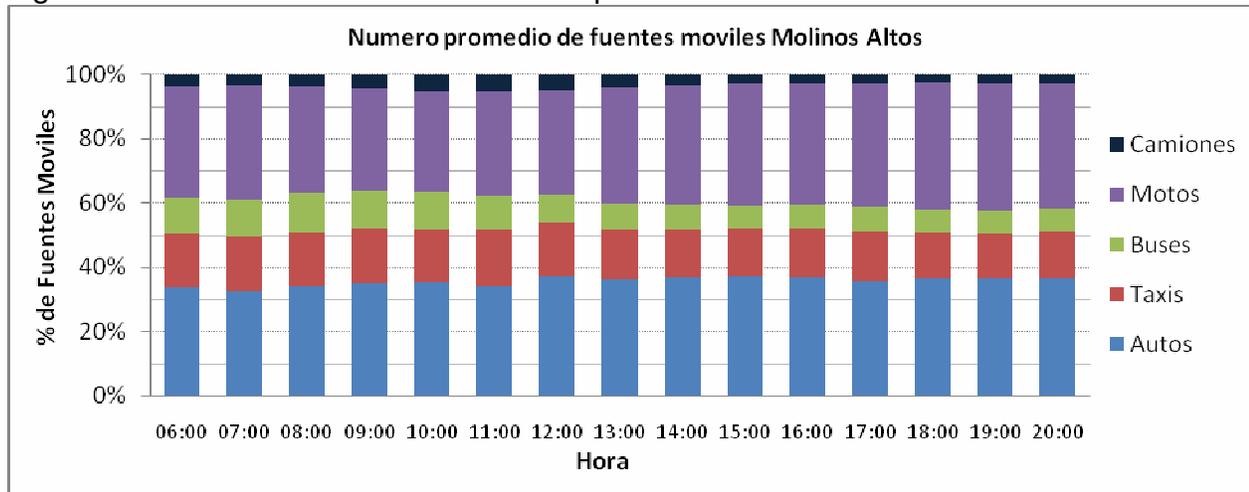
En la siguiente tabla se observa en detalle la contribución de cada fuente móvil al flujo vehicular de este punto según día de la semana y sentido de la observación:

Tabla 5 Inventario de fuentes móviles en el punto de monitoreo barrio Lagos

Estación	LAGOS						
Sentido	NORTE - SUR						
Tipo fuente móvil	AUTOS	TAXIS	BUSES(TAS)	MOTOS	CAMIONES	TOTAL	PROMEDIO HORA
Entre semana (No.)	11688	5514	2662	11136	1358	32358	506
Porcentaje	36%	17%	8%	34%	4%	100%	
Sábado (No.)	14068	8193	2910	13260	1414	39845	664
Porcentaje	35%	21%	7%	33%	4%	100%	
Domingo (No.)	8002	5068	2047	8365	768	24250	433
Porcentaje	33%	21%	8%	34%	3%	100%	

Estación	LAGOS						
Sentido	SENTIDO SUR - NORTE						
Tipo fuente móvil	AUTOS	TAXIS	BUSES(TAS)	MOTOS	CAMIONES	TOTAL	PROMEDIO HORA
Entre semana (No.)	10398	3472	2635	11770	615	28890	451,4
Porcentaje	36%	12%	9%	41%	2%	100%	
Sábado (No.)	9326	3445	2965	9646	592	25974	432,9
Porcentaje	36%	13%	11%	37%	2%	100%	
Domingo (No.)	5822	2143	2038	5875	250	16128	288,0
Porcentaje	36%	13%	13%	36%	2%	100%	

Figura 5. Promedio fuentes móviles en el punto de monitoreo barrio Molinos



Punto de monitoreo Carrera 17 con Diagonal 15

El promedio de flujo vehicular por hora en este punto fue entre 500 y 580 vehículos por hora entre semana y sábados en los sentidos norte-sur y sur-norte y un menor (entre 200 y 300) en los sentidos oriente-occidente y viceversa. En todos los sentidos fue menor el flujo los días domingos. El sentido de la observación que tuvo mayor flujo de fuentes móviles fue el sentido norte-sur. Como se presenta en las tablas inferiores la fuente móvil de mayor flujo fueron las motos que constituyen casi el 38% del tráfico vehicular, seguidos de los autos y los taxis (24%).

En este punto de monitoreo se evidenció además que el flujo de buses y busetas, que usan principalmente diesel como combustible constituye entre el 8% y 16%, menor al registrado en el otro punto de monitoreo del centro de la calle 34 con carrera 15.

En la siguiente tabla se observa en detalle la contribución de cada fuente móvil al flujo vehicular de este punto según día de la semana y sentido de la observación:

Tabla 6. Inventario de fuentes móviles en el punto de monitoreo Diagonal 15 Carrera 17

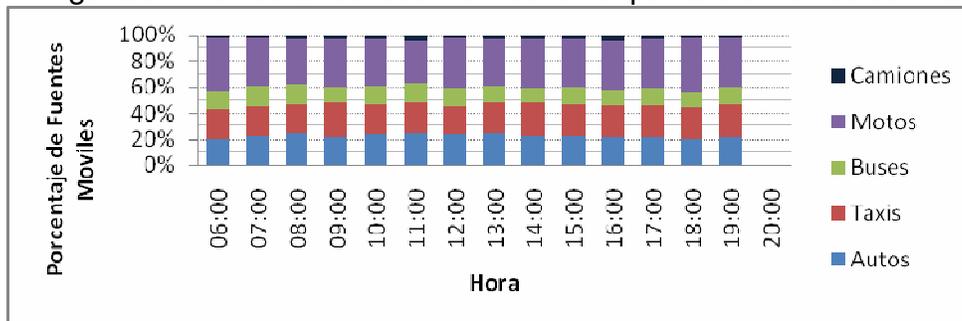
Estación	CRA 17 CON DIAG 15						PROMEDIO HORA
Sentido	SENTIDO SUR - NORTE						
Tipo fuente móvil	AUTOS	TAXIS	BUSES(TAS)	MOTOS	CAMIONES	TOTAL	
Entre semana (No.)	5591	4762	3809	9345	654	24161	503,3
Porcentaje	23%	20%	16%	39%	3%	100%	
Sábado (No.)	4291	3062	3286	5358	560	16557	551,9
Porcentaje	26%	18%	20%	32%	3%	100%	
Domingo (No.)	747	888	722	905	48	3310	118,2
Porcentaje	23%	27%	22%	27%	1%	100%	

Estación	CRA 17 CON DIAG 15						
Sentido	SENTIDO NORTE - SUR						
Tipo fuente móvil	AUTOS	TAXIS	BUSES(TAS)	MOTOS	CAMIONES	TOTAL	PROMEDIO HORA
Entre semana (No.)	4542	9347	3450	10913	604	28856	555
Porcentaje	16%	32%	12%	38%	2%	100%	
Sábado (No.)	5057	9038	2822	12557	1067	30541	587
Porcentaje	17%	30%	9%	41%	3%	100%	
Domingo (No.)	2387	2964	1912	3242	323	10828	235
Porcentaje	22%	27%	18%	30%	3%	100%	

Estación	CRA 17 CON DIAG 15						
Sentido	OCCIDENTE - ORIENTE						
Tipo fuente móvil	AUTOS	TAXIS	BUSES(TAS)	MOTOS	CAMIONES	TOTAL	PROMEDIO HORA
Entre semana (No.)	4470	4147	1966	6256	1462	18301	326,8
Porcentaje	24%	23%	11%	34%	8%	100%	
Sábado (No.)	3665	4623	2565	5491	498	16842	323,8
Porcentaje	22%	27%	15%	33%	3%	100%	
Domingo (No.)	3169	4933	1416	4353	629	14500	302,08
Porcentaje	22%	34%	10%	30%	4%	100%	

Estación	CRA 17 CON DIAG 15						
Sentido	ORIENTE - OCCIDENTE						
Tipo fuente móvil	AUTOS	TAXIS	BUSES(TAS)	MOTOS	CAMIONES	TOTAL	PROMEDIO HORA
Entre semana (No.)	4764	3838	1494	7606	817	18519	578,7
Porcentaje	26%	21%	8%	41%	4%	100%	
Sábado (No.)	1546	1696	240	2488	507	6496	124,9
Porcentaje	24%	26%	4%	38%	8%	100%	
Domingo (No.)	2345	1931	599	1889	330	7094	236,4
Porcentaje	33%	27%	8%	27%	5%	100%	

Figura 6. Promedio fuentes móviles en el punto de monitoreo Diagonal 15 Carrera 17



4.1.2. Análisis de la relación entre calidad del aire y el tránsito promedio diario de vehículos

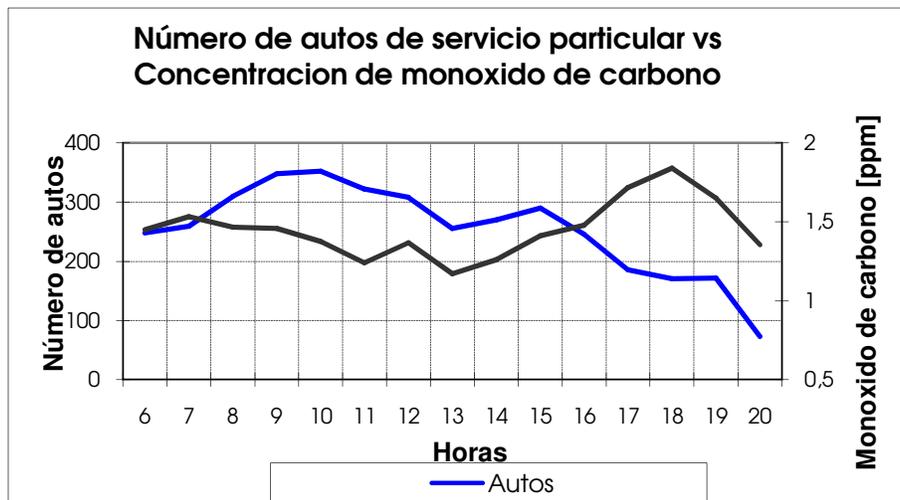
El conteo de vehículos realizado durante una semana consecutiva (incluido el domingo) tenía también como objetivo determinar en qué medida cada clase de fuente móvil, en función del combustible que use, afectan la calidad del aire en el área de influencia de las estaciones de monitoreo que posean equipos automáticos que reportan información hora a hora.

De esta forma, las próximas gráficas pretenden analizar las siguientes relaciones:

- Los autos de servicio particular, que en su mayoría utilizan gasolina como combustible, generan principalmente monóxido de carbono [CO], óxidos de nitrógeno [NOx] e Hidrocarburos [HC].
- La mayoría de taxis en Bucaramanga se han convertido a gas natural y el resto utiliza gasolina; un porcentaje muy bajo utilizan diesel. Por lo tanto, los taxis generan principalmente óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono.
- Los buses y camiones, que en su mayoría utilizan diesel, generan principalmente PM₁₀ y Óxidos de Azufre (SO_x)
- Las motos por el tipo de combustible utilizado, generan en su mayoría HC y CO.

- a. **Estación Centro:** en el análisis realizado a los autos de servicio particular, se realizaron dos gráficas de las cuales se encontró una mayor relación con la generación de monóxido de carbono. De los datos promedio, hacia la una de la tarde el número de autos particulares presenta un descenso equivalente a una disminución de CO. Igualmente, después de las 7:00 pm se observa una reducción de la concentración de este contaminante cuando empieza a disminuir el tránsito de esta clase de vehículos por el centro.

Figura 7. Relación entre el número de autos y la concentración de monóxido de carbono en la estación Centro



Las siguientes dos (2) graficas muestran la relación de camiones, buses y busetas con la concentración de PM_{10} :

Figura 8. Relación entre el número de camiones y la concentración de material particulado en la estación Centro

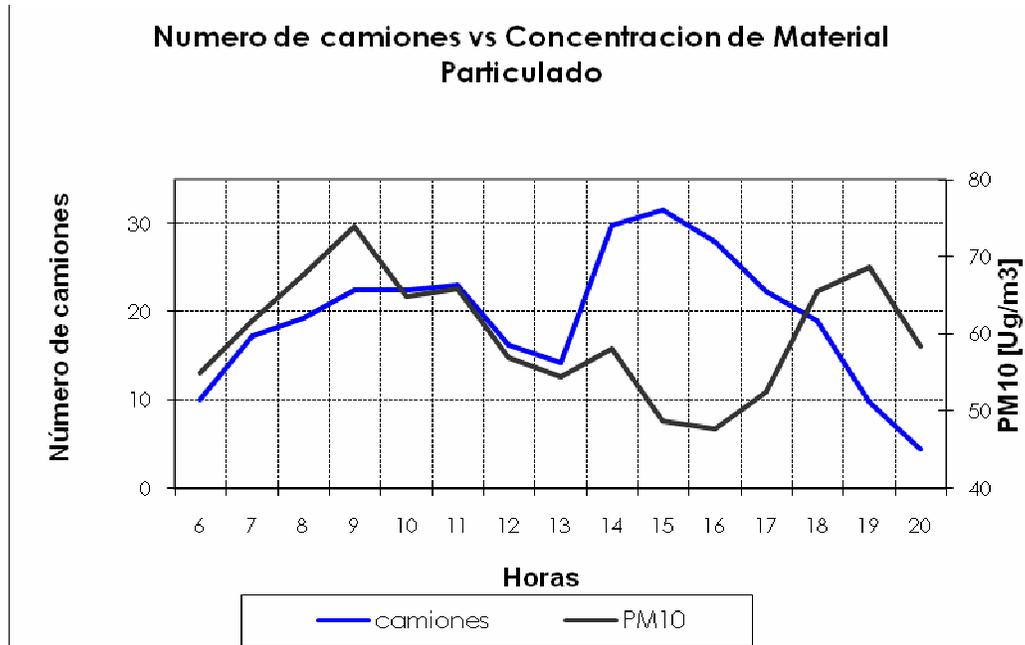
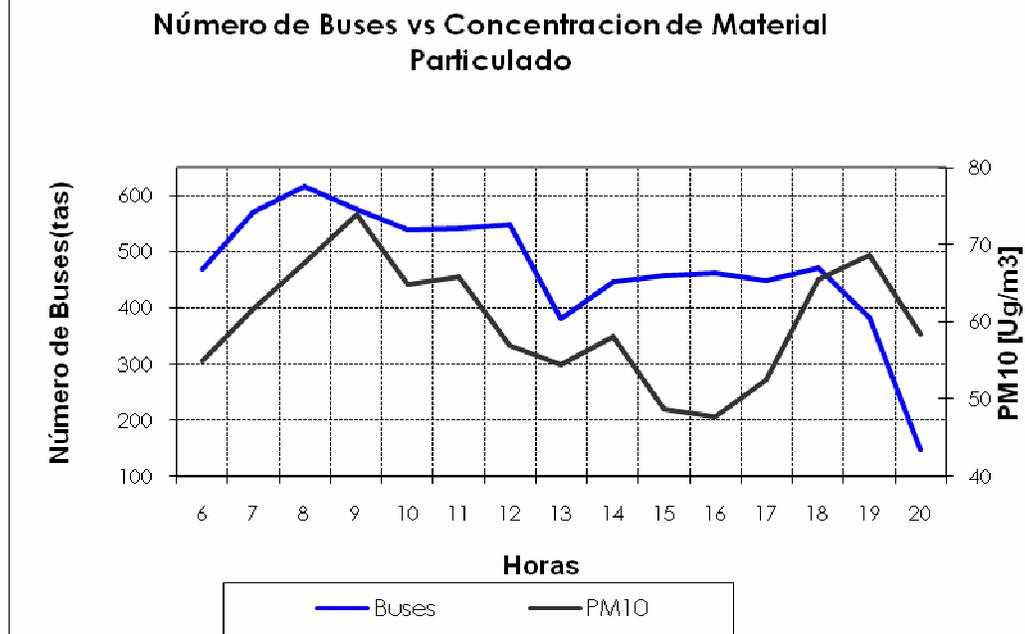
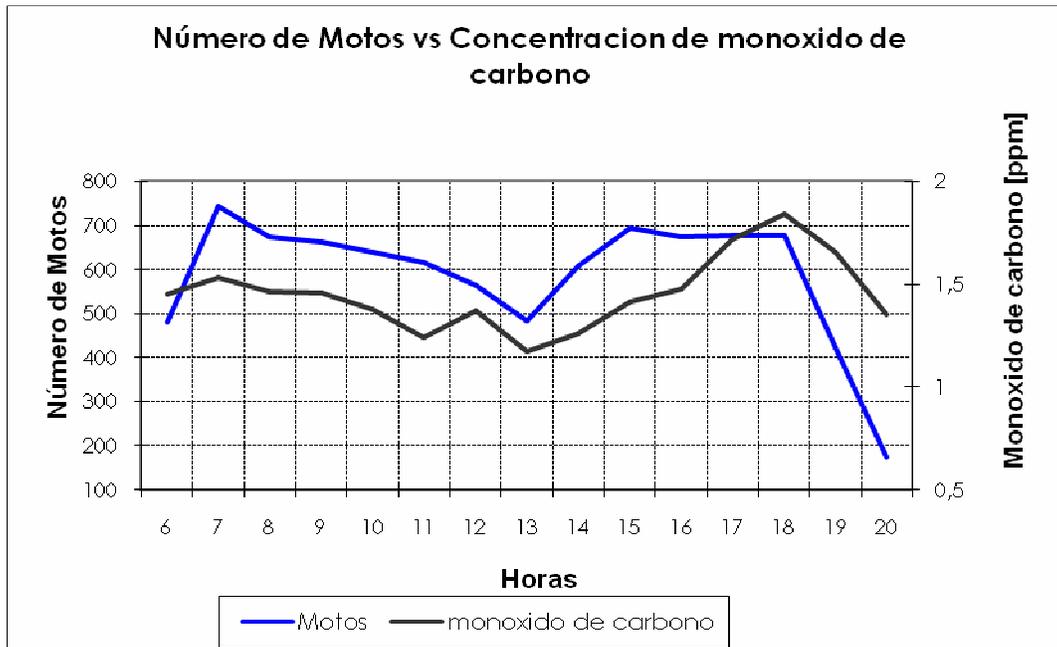


Figura 9. Relación entre el número buses y la concentración de material particulado en la estación Centro



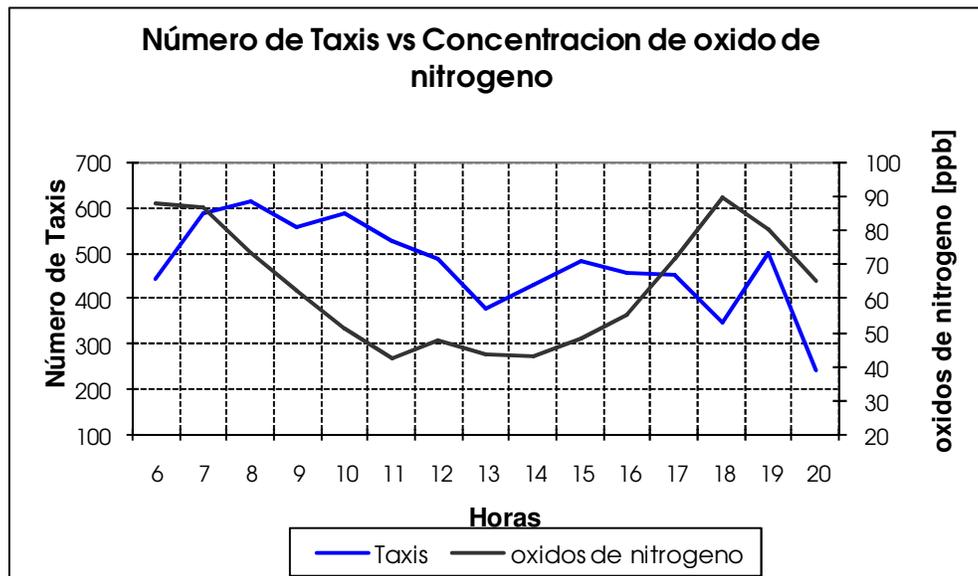
Las motos muestran una gran relación con el monóxido de carbono:

Figura 10. Relación del número de motos y la concentración de monóxido de carbono en la estación Centro



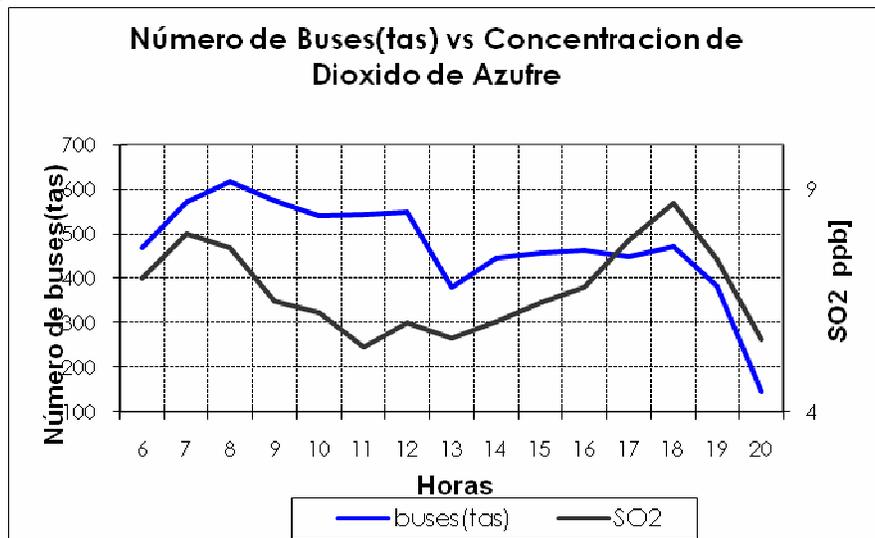
La mayor relación para los Taxis se encontró con los óxidos de nitrógeno según la siguiente gráfica:

Figura 11. Relación del número de taxis y la concentración de óxido de nitrógeno en la estación Centro



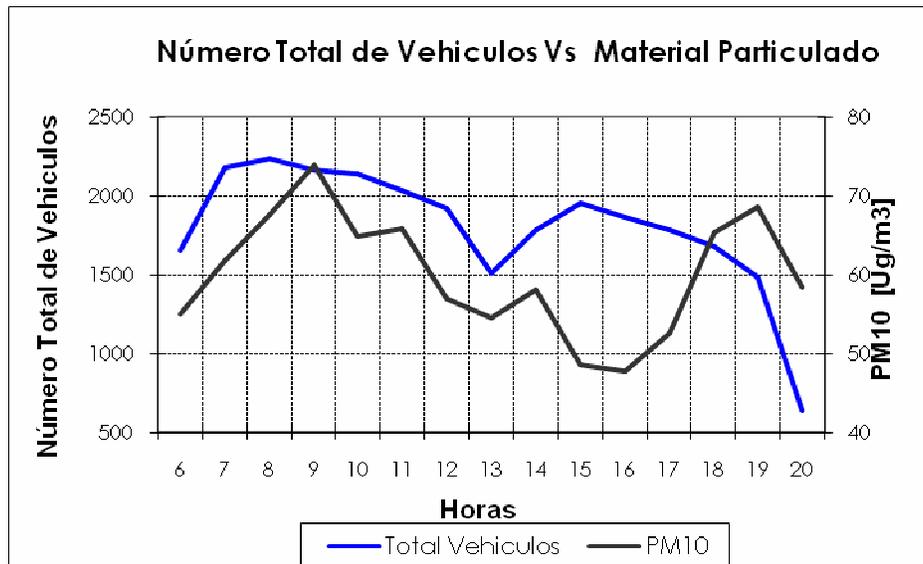
La relación entre el número de Buses y Busetas que utilizan Diesel con la concentración promedio horaria de dióxido de azufre también es evidente:

Figura 12. Relación del número de taxis y la concentración de dióxido de azufre en la estación Centro



Finalmente, se realizaron gráficas para la cantidad total de vehículos (autos particulares, taxis, buses, busetas, motos y camiones) versus los parámetros monitoreados en el centro de Bucaramanga encontrando la mayor relación con el material particulado inferior a 10 micras (PM_{10}), como se observa en la siguiente grafica, debido al gran número de vehículos diesel que circulan por la carrera 15.

Figura 13. Relación total del número de vehículos y la concentración de material particulado en la estación Centro



- b. Estación Cabecera:** a diferencia del centro de Bucaramanga, en esta zona de la ciudad, el número de buses y busetas disminuye considerablemente y por el contrario se encontró que los autos particulares y las motos como las principales fuentes móviles, obteniendo las siguientes correlaciones:

Figura 14. Relación del número de autos y la concentración de monóxido de carbono en la estación Cabecera

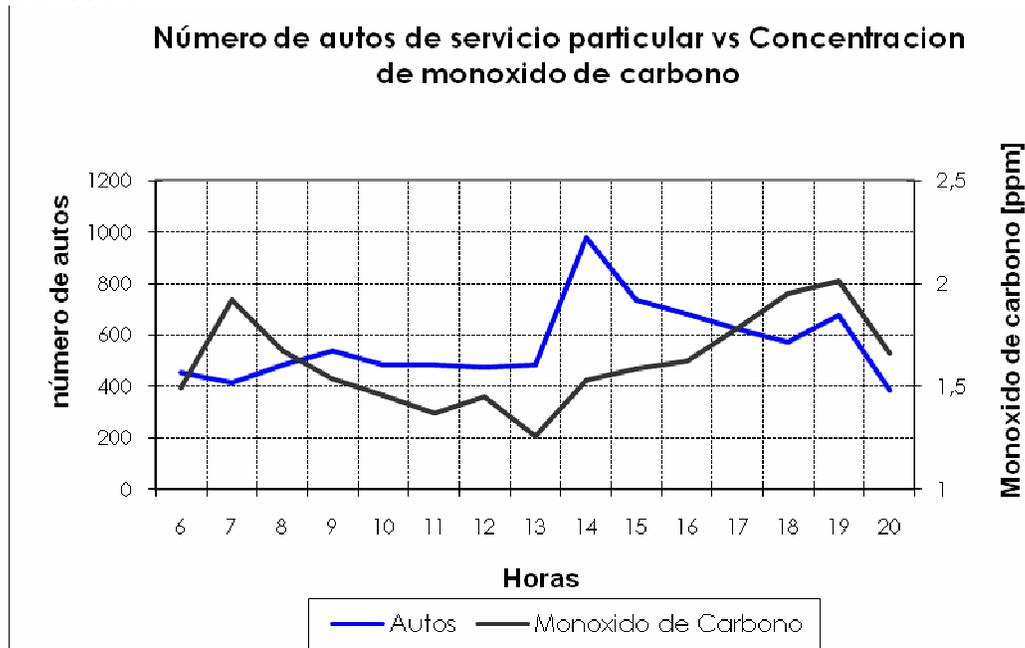


Figura 15. Relación entre el número de motos y la concentración de monóxido de carbono en la estación Cabecera

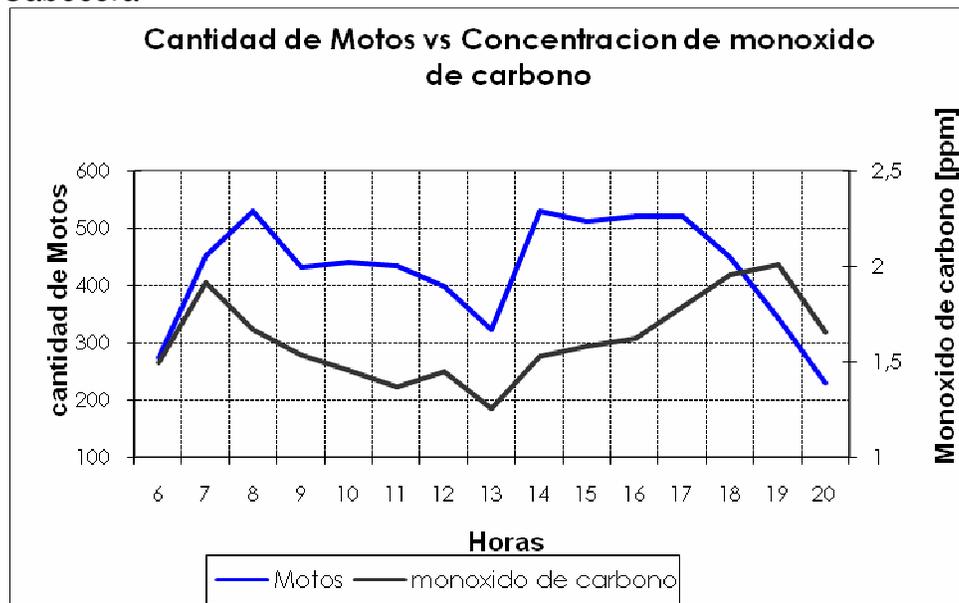
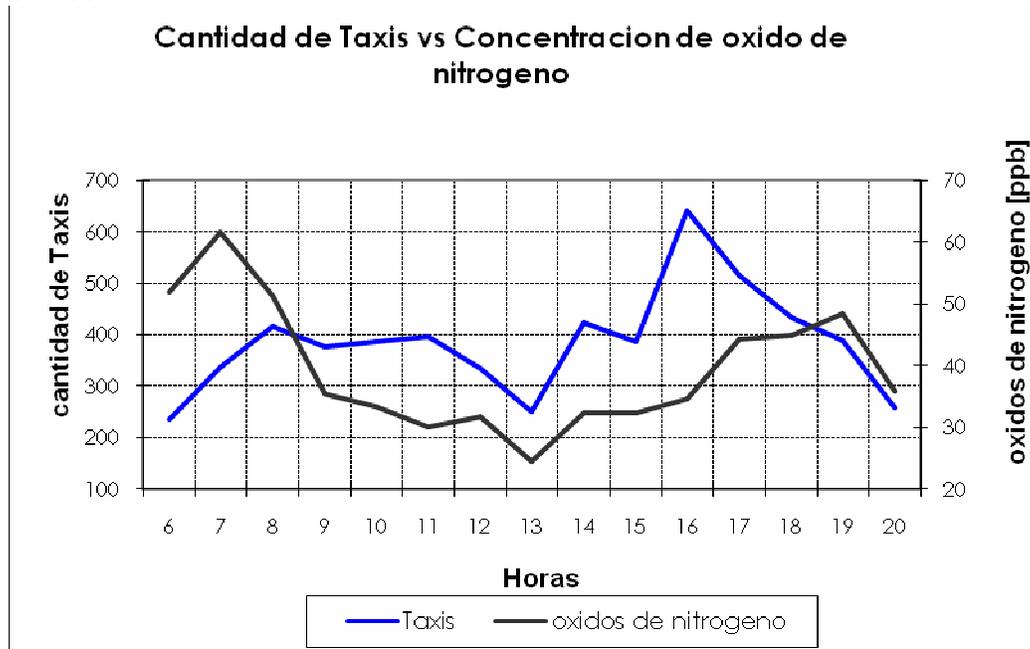
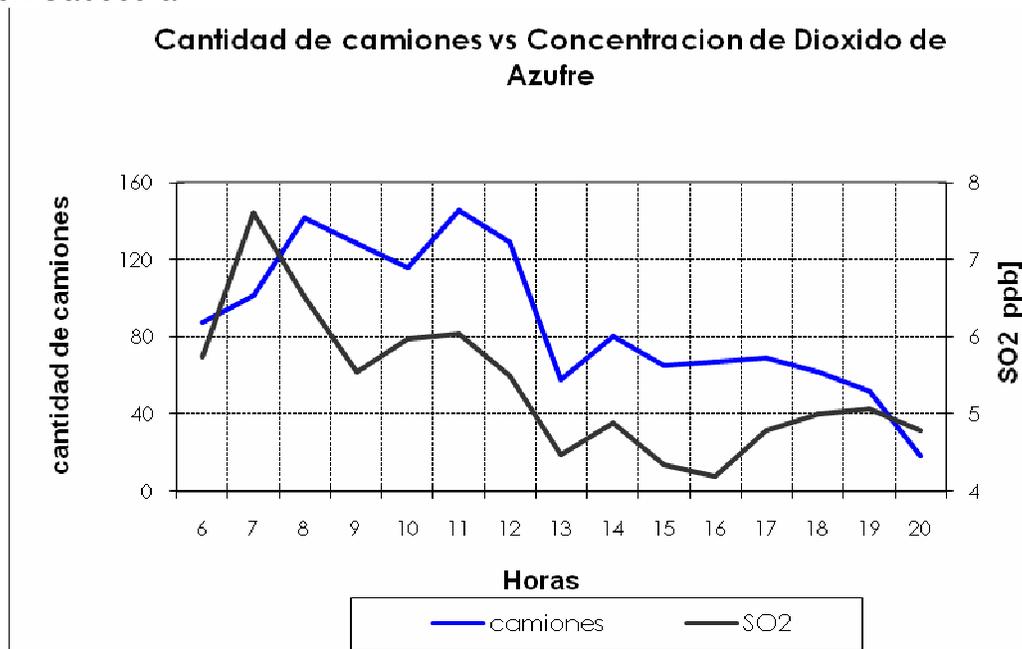


Figura 16. Relación entre el numero de taxis y la concentración de óxido de nitrógeno en la estación Cabecera



La siguiente grafica muestra la relación entre el número de camiones, que utilizan diesel como combustible, y la concentración de PM₁₀ en el aire:

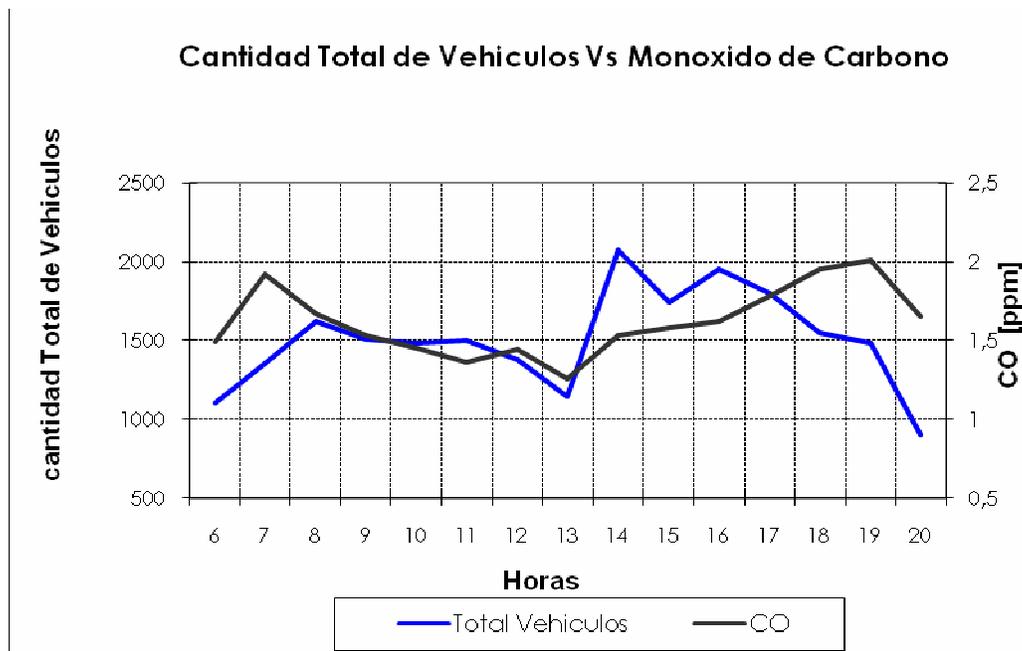
Figura 17. Relación entre el número de camiones y la concentración de dióxido de azufre en la estación Cabecera



Aunque se observa una tendencia similar entre las 13:00 y 17:00, se presenta un comportamiento opuesto entre ambas líneas, indicando que pueden existir otras fuentes generadoras de partículas más importantes en esta zona que las fuentes móviles.

La figura 18 resume el comportamiento del promedio total de vehículos y el contaminante que registró una mayor relación entre ellos:

Figura 18. Relación total entre el número de vehículos y la concentración de monóxido de carbono en la estación Cabecera



Esta situación se podría explicar por el mayor número de vehículos particulares y motos que circulan normalmente por esta zona, en comparación con las demás clases de fuentes móviles que utilizan otro tipo de combustibles.

Los demás puntos en donde se realizó el conteo de vehículos no fueron incluidos en esta comparación, ya que los equipos ubicados en las estaciones de calidad del aire eran manuales y no ofrecen información horaria, necesaria para este tipo análisis.

4.1.3. Inventario de Fuentes Fijas

El inventario de fuentes fijas de potenciales contaminantes determinó una mínima presencia de éstos establecimientos en las zonas de monitoreo. Se registraron 11 establecimientos en cabecera y 10 en Molinos, principalmente restaurantes de comidas. En la zona centro se encontraron 13 fuentes de tipo comercial.

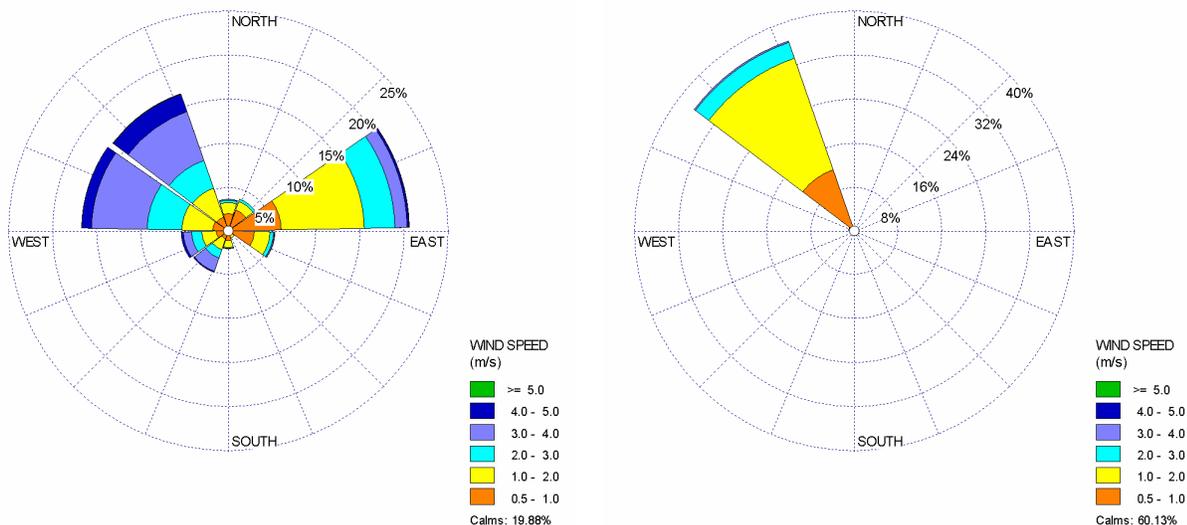
4.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LOS CONTAMINANTES QUE CONTIENEN LAS PARTÍCULAS DE PM₁₀ OBTENIDAS DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO AMBIENTAL Y MODELOS RECEPTOR-FUENTE

4.2.1. Meteorología

A continuación se analizan las principales variables meteorológicas que afectan los niveles de material particulado en toda el Área Metropolitana de Bucaramanga. Los datos se obtuvieron a partir de estaciones meteorológicas automáticas permanentes o portátiles ubicadas en cada punto.

ZONA NORTE

En la figura 19 se pueden observar la rosa de vientos para el Hospital y Kennedy. En las rosas se puede apreciar claramente que la dirección predominante proviene del Noroeste (NW). La estación del Hospital presenta otro componente del Estenordeste (ENE). Se debe tener en cuenta que la estación meteorológica del Hospital se encuentra en la azotea del edificio del Hospital Local del Norte, mientras que la del Kennedy en se ubicó en el techo de una vivienda, por tanto las obstrucciones a que cada equipo está expuesto puede influenciar las velocidades y direcciones registradas.



Hospital del Norte. 1 Nov 2009 – 31 May 2010

Kennedy. 11 Feb 2010 – 11 Abr 2010

Figura 19 Rosas de vientos Zona Norte

En la figura 20 se pueden apreciar las precipitaciones acumuladas mensuales y diarias en que las estaciones ubicadas en el Norte de Bucaramanga. En dichas figuras se puede observar que las lluvias aumentan en los días de Mayo.

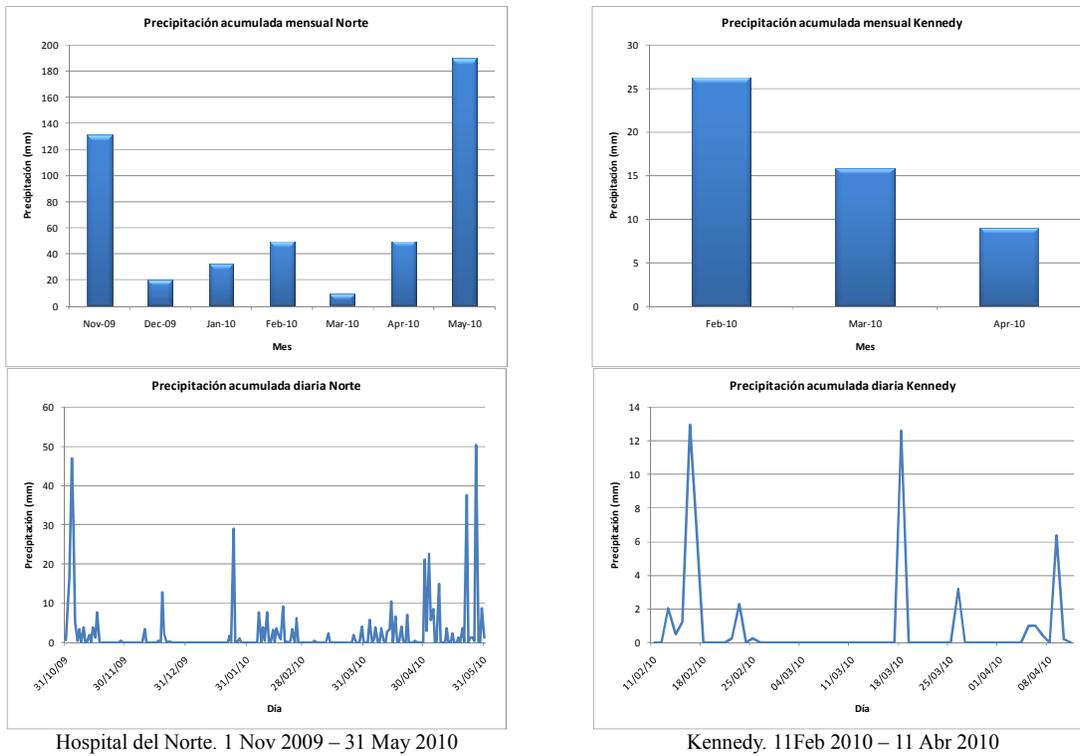


Figura 20 Precipitación Zona Norte

En la figura 21 se puede apreciar que la temperatura se encuentra alrededor de los 25 °C.

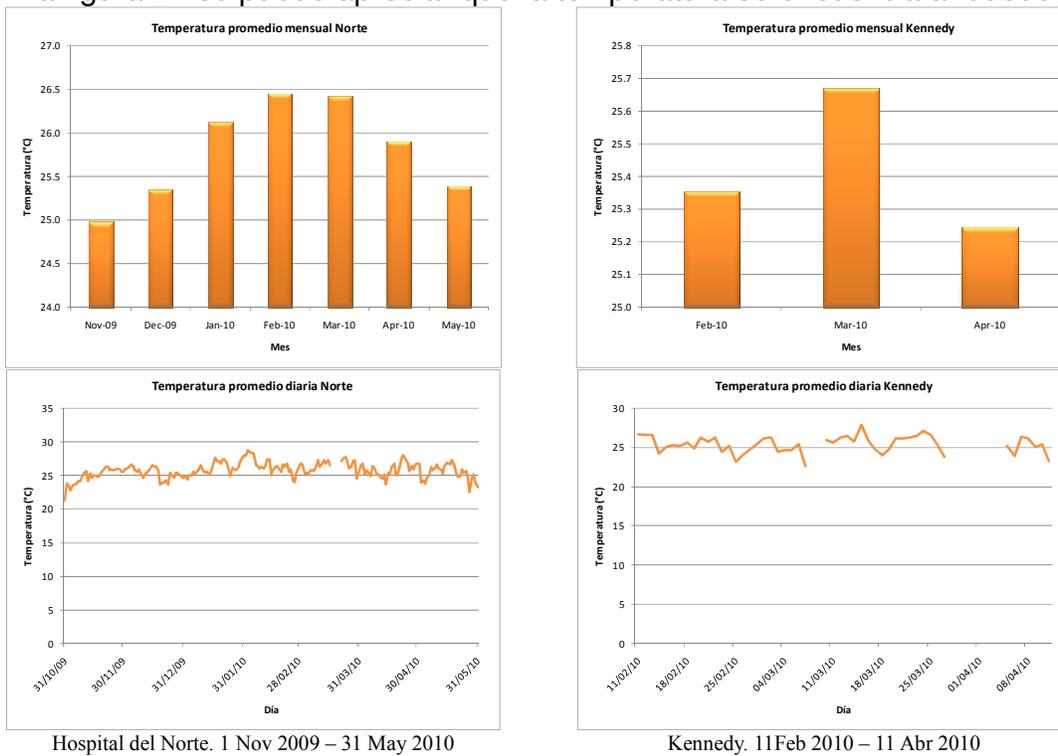
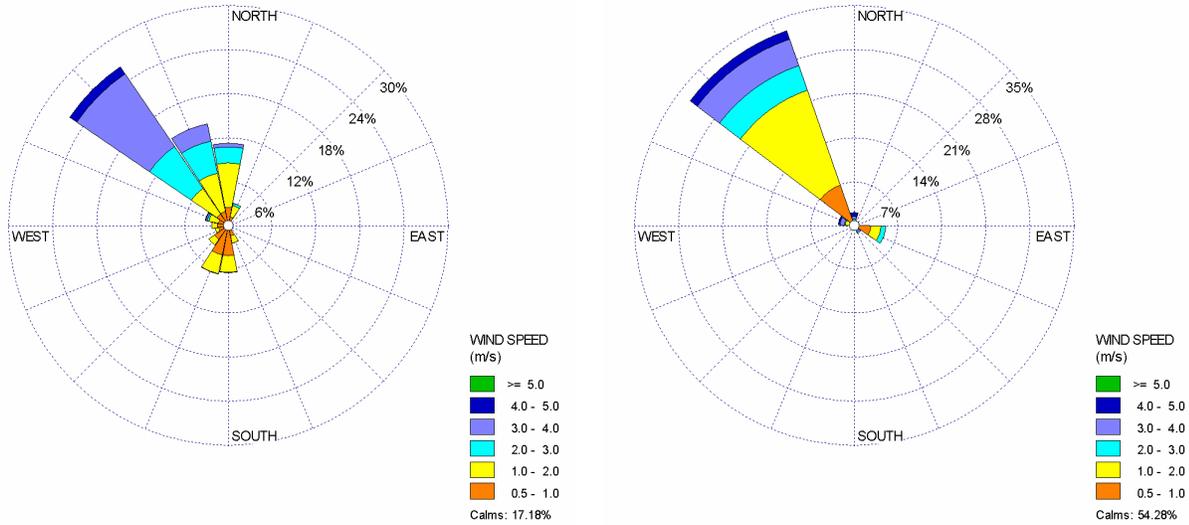


Figura 21 Temperatura Zona Norte

ZONA CENTRO

Al igual que en el Norte las direcciones predominantes del viento en el Centro y La Joya provienen del NW, tal como se observa en las rosas siguientes (figura 22).

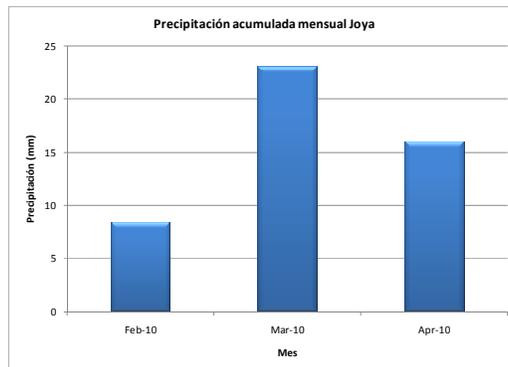


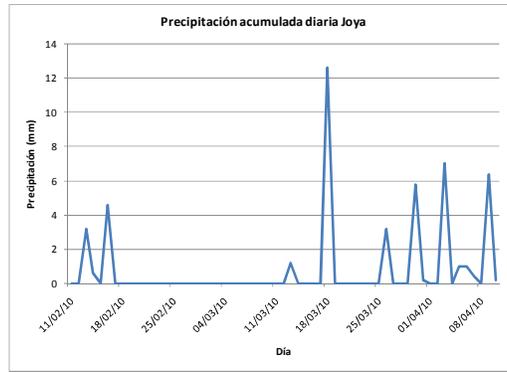
Centro. 1 Nov 2009 – 31 May 2010

La Joya. 11 Feb 2010 – 10 Abr 2010

Figura 22 Rosas de vientos Zona Centro

En la figura 23 se puede apreciar que en Abril se presentan lluvias con más frecuencia que en los otros meses evaluados (hay que tener presente que la estación La Joya trabajó hasta el 10 de abril).





La Joya. 11Feb 2010 – 10 Abr 2010
Figura 23 Precipitación Zona Centro

En la figura 24 se puede apreciar que las temperaturas en la estación Centro se encuentran entre 20 °C y 25 °C, mientras que la mayoría de registros en La Joya se encuentran levemente por encima de 25 °C.

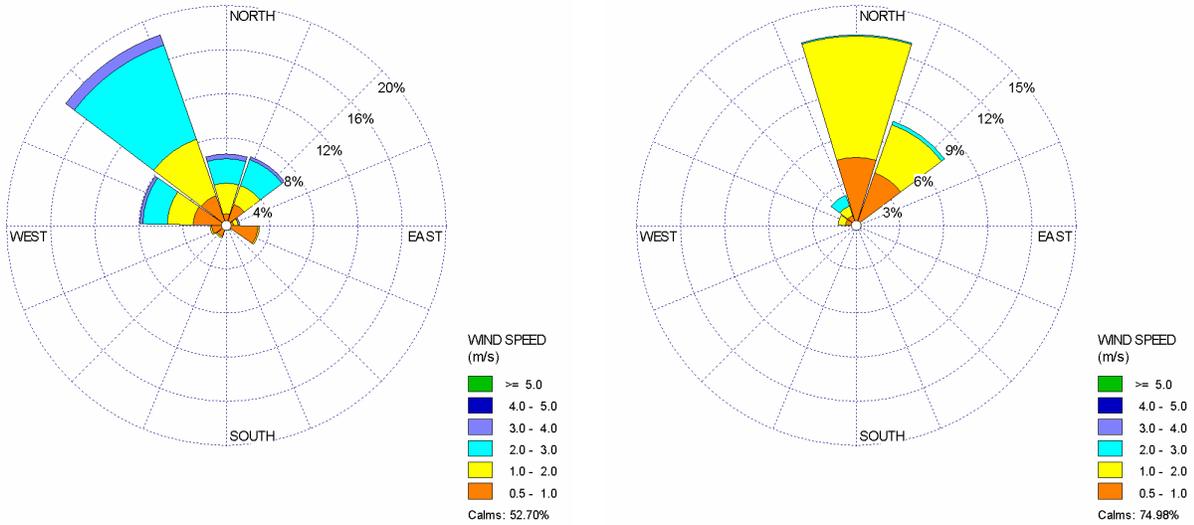


Centro 1 Nov 2009 – 31 May 2010
 La Joya. 11Feb 2010 – 10 Abr 2010

Figura 24 Temperatura Zona Centro

ZONA SUR

En Cañaveral la dirección predominante es NW, mientras que en Molinos es N (y un segundo componente del NNE). La estación Molinos puede verse afectada por las viviendas cercanas.

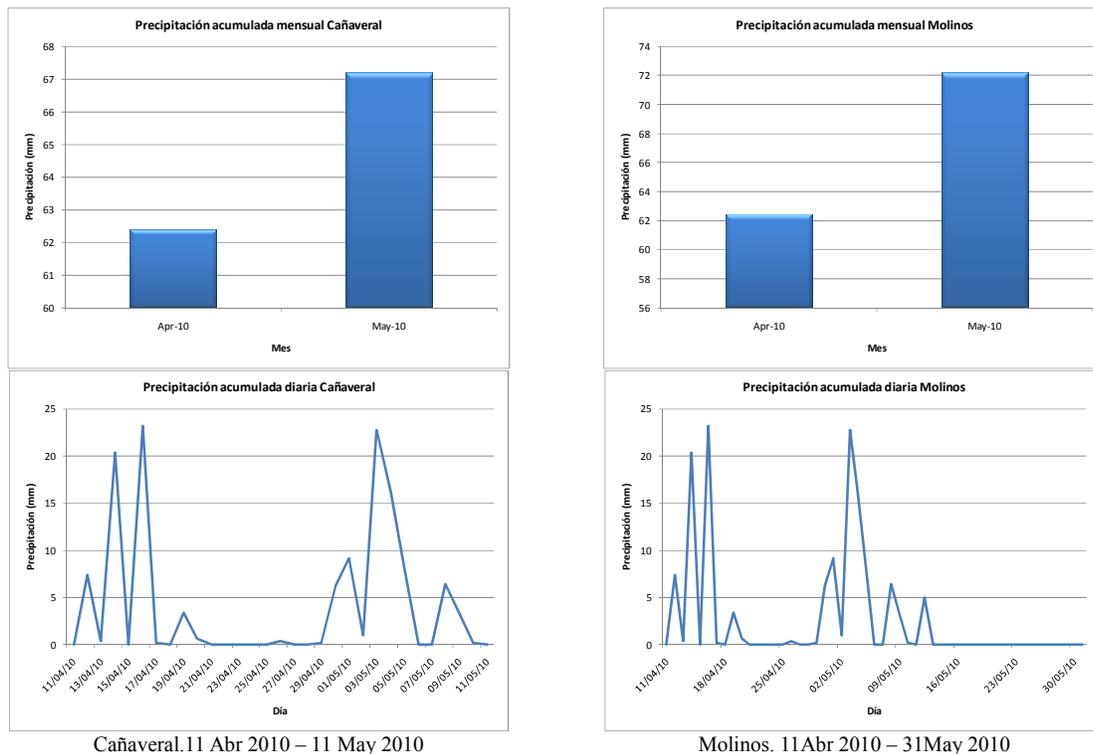


Cañaveral. 11 Abr 2010 – 11 May 2010

Molinos. 11 Abr 2010 – 31 May 2010

Figura 25 Rosa de vientos Zona Sur

En la figuras 26 y 27 se puede observar que tanto la precipitación como la temperatura en las estaciones Cañaveral y Molinos son esencialmente las mismas.



Cañaveral. 11 Abr 2010 – 11 May 2010

Molinos. 11 Abr 2010 – 31 May 2010

Figura 26 Precipitación Zona Sur

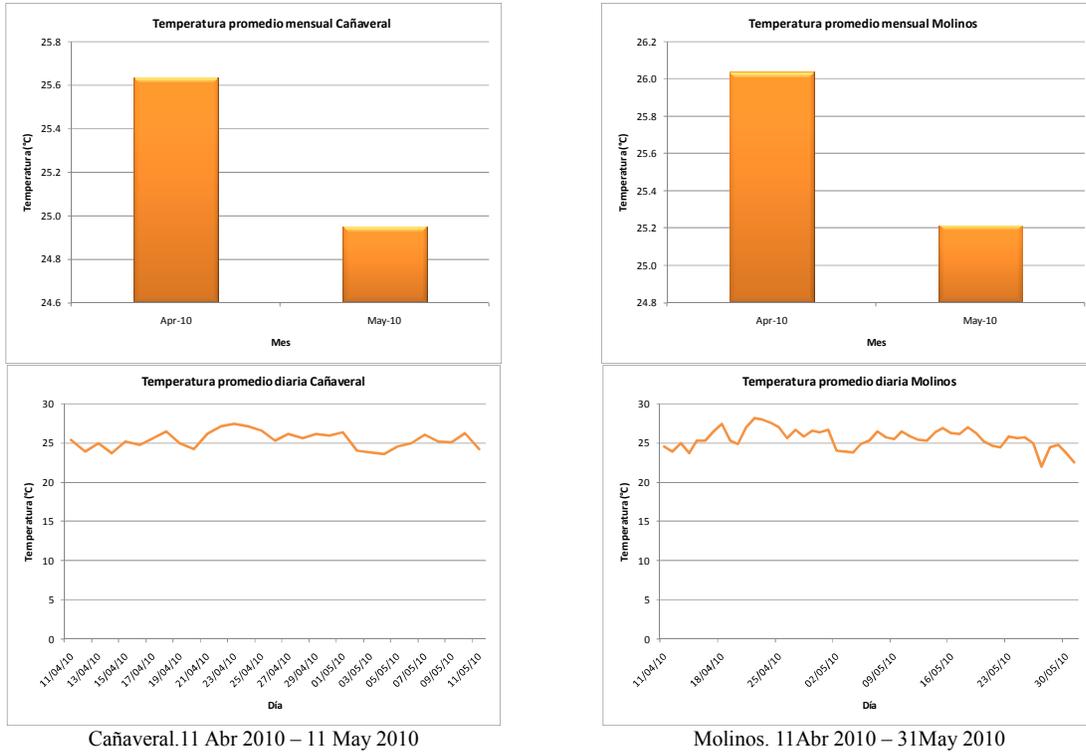


Figura 27 Temperatura Zona Sur

4.2.2. Análisis fisicoquímico

En el estudio se tomaron 100 filtros con muestras de PM₁₀ mediante la utilización de equipos muestreadores de alto volumen y se enviaron a analizar 50 muestras para Iones-Metales y 50 para Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos(PAHs). Las muestras se tomaron entre los diversos puntos de estudio, tanto en época seca como de lluvias, tal como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7 Relación de los filtros analizados en el estudio

#	Lugar	Filtro	Fecha	Concentración (µg/m3)	Época	Análisis
1	San Miguel	1106	2-dic-09	62.27	Seca	Iones-Metales
2	San Miguel	1109	5-dic-09	62.06	Seca	Iones-Metales
3	San Miguel	1112	8-dic-09	55.49	Seca	Iones-Metales
4	San Miguel	1115	11-dic-09	55.64	Seca	Iones-Metales
5	San Miguel	1118	14-dic-09	51.90	Seca	Iones-Metales
6	San Miguel	1121	17-dic-09	63.45	Seca	Iones-Metales
7	San Miguel	1124	20-dic-09	33.64	Seca	Iones-Metales
8	San Miguel	1127	26-dic-09	35.94	Seca	Iones-Metales
9	San Miguel	1130	29-dic-09	50.75	Seca	Iones-Metales
10	San Miguel	1133	31-dic-09	48.43	Seca	Iones-Metales
11	La Joya	1135	31-dic-09	58.69	Seca	Iones-Metales
12	Ricaurte	1136	31-dic-09	49.79	Seca	Iones-Metales
13	San Miguel	1138	7-ene-10	61.80	Seca	Iones-Metales
14	La Joya	1137	7-ene-10	42.65	Seca	Iones-Metales
15	San Miguel	1140	10-ene-10	59.04	Seca	Iones-Metales
16	La Joya	1139	10-ene-10	49.74	Seca	Iones-Metales
17	Ricaurte	1141	10-ene-10	55.07	Seca	Iones-Metales
18	San Miguel	1143	13-ene-10	61.81	Seca	Iones-Metales
19	La Joya	1142	13-ene-10	49.18	Seca	Iones-Metales
20	Ricaurte	1144	13-ene-10	49.77	Seca	Iones-Metales
21	San Miguel	1146	16-ene-10	67.17	Seca	Iones-Metales
22	La Joya	1145	16-ene-10	48.09	Seca	Iones-Metales
23	Ricaurte	1147	16-ene-10	56.43	Seca	Iones-Metales
24	San Miguel	1151	22-ene-10	72.12	Seca	PAHs
25	La Joya	1153	22-ene-10	51.54	Seca	PAHs
26	Ricaurte	1152	22-ene-10	70.41	Seca	PAHs
27	San Miguel	1155	25-ene-10	59.92	Seca	PAHs
28	La Joya	1154	25-ene-10	42.33	Seca	PAHs
29	Ricaurte	1156	25-ene-10	48.49	Seca	PAHs
30	San Miguel	1159	28-ene-10	56.85	Seca	PAHs
31	La Joya	1157	28-ene-10	21.37	Seca	PAHs
32	Ricaurte	1158	28-ene-10	65.15	Seca	PAHs

#	Lugar	Filtro	Fecha	Concentración (µg/m3)	Época	Análisis
33	San Miguel	1161	31-ene-10	48.75	Seca	PAHs
34	La Joya	1160	31-ene-10	41.80	Seca	PAHs
35	San Miguel	1164	3-feb-10	69.48	Seca	PAHs
36	La Joya	1163	3-feb-10	48.38	Seca	PAHs
37	San Miguel	1167	6-feb-10	63.74	Seca	PAHs
38	San Miguel	1170	9-feb-10	52.30	Seca	PAHs
39	San Miguel	1173	12-feb-10	70.42	Seca	PAHs
40	San Miguel	1176	15-feb-10	63.75	Seca	PAHs
41	San Miguel	1179	18-feb-10	75.16	Seca	PAHs
42	San Miguel	1182	21-feb-10	101.72	Seca	PAHs
43	Cañaveral	1186	23-feb-10	72.35	Seca	PAHs
44	San Miguel	1185	24-feb-10	70.07	Seca	PAHs
45	Cañaveral	1187	24-feb-10	51.69	Seca	PAHs
46	Cañaveral	1188	25-feb-10	53.80	Seca	PAHs
47	Cañaveral	1191	26-feb-10	45.95	Seca	Iones-Metales
48	San Miguel	1190	27-feb-10	55.27	Seca	PAHs
49	Cañaveral	1194	2-mar-10	74.55	Seca	Iones-Metales
50	San Miguel	1193	2-mar-10	82.83	Seca	PAHs
51	San Miguel	1196	5-mar-10	68.09	Seca	PAHs
52	San Miguel	1201	14-mar-10	42.28	Seca	Iones-Metales
53	San Miguel	1204	17-mar-10	42.67	Seca	Iones-Metales
54	San Miguel	1206	20-mar-10	54.63	Seca	Iones-Metales
55	San Miguel	1213	1-abr-10	43.23	Lluvia	PAHs
56	San Miguel	1214	4-abr-10	43.48	Lluvia	PAHs
57	San Miguel	1217	7-abr-10	49.99	Lluvia	PAHs
58	La Joya	1216	7-abr-10	34.77	Lluvia	PAHs
59	San Miguel	1218	10-abr-10	46.10	Lluvia	PAHs
60	La Joya	1219	10-abr-10	24.68	Lluvia	PAHs
61	San Miguel	1221	13-abr-10	38.67	Lluvia	PAHs
62	La Joya	1220	13-abr-10	19.62	Lluvia	PAHs
63	Cañaveral	1222	13-abr-10	30.60	Lluvia	PAHs
64	San Miguel	1224	16-abr-10	38.77	Lluvia	Iones-Metales
65	La Joya	1223	16-abr-10	16.31	Lluvia	Iones-Metales
66	Cañaveral	1225	16-abr-10	32.08	Lluvia	Iones-Metales
67	Cañaveral	1228	19-abr-10	32.01	Lluvia	Iones-Metales
68	San Miguel	1227	22-abr-10	34.98	Lluvia	Iones-Metales
69	La Joya	1230	22-abr-10	36.58	Lluvia	Iones-Metales
70	Cañaveral	1229	22-abr-10	38.81	Lluvia	Iones-Metales
71	San Miguel	1233	25-abr-10	55.91	Lluvia	PAHs
72	La Joya	1232	25-abr-10	33.30	Lluvia	PAHs
73	Cañaveral	1231	25-abr-10	40.15	Lluvia	PAHs
74	San Miguel	1236	28-abr-10	53.64	Lluvia	PAHs
75	La Joya	1235	28-abr-10	21.05	Lluvia	PAHs
76	Cañaveral	1234	28-abr-10	35.59	Lluvia	PAHs

#	Lugar	Filtro	Fecha	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Época	Análisis
77	San Miguel	1237	1-may-10	38.82	Lluvia	PAHs
78	La Joya	1239	1-may-10	30.89	Lluvia	PAHs
79	Cañaveral	1238	1-may-10	36.08	Lluvia	PAHs
80	San Miguel	1242	4-may-10	28.51	Lluvia	PAHs
81	La Joya	1241	4-may-10	8.54	Lluvia	PAHs
82	Cañaveral	1240	4-may-10	21.78	Lluvia	PAHs
83	San Miguel	1245	7-may-10	41.12	Lluvia	PAHs
84	La Joya	1244	7-may-10	27.68	Lluvia	PAHs
85	Cañaveral	1243	7-may-10	36.50	Lluvia	PAHs
86	San Miguel	1247	10-may-10	39.56	Lluvia	Iones-Metales
87	La Joya	1248	10-may-10	27.23	Lluvia	Iones-Metales
88	Cañaveral	1246	10-may-10	26.82	Lluvia	Iones-Metales
89	San Miguel	1251	13-may-10	43.34	Lluvia	Iones-Metales
90	La Joya	1250	13-may-10	29.20	Lluvia	Iones-Metales
91	Cañaveral	1249	13-may-10	43.54	Lluvia	Iones-Metales
92	San Miguel	1253	16-may-10	30.34	Lluvia	Iones-Metales
93	La Joya	1252	16-may-10	21.86	Lluvia	Iones-Metales
94	Cañaveral	1254	16-may-10	39.62	Lluvia	Iones-Metales
95	San Miguel	1256	19-may-10	45.32	Lluvia	Iones-Metales
96	La Joya	1255	19-may-10	27.91	Lluvia	Iones-Metales
97	Cañaveral	1257	19-may-10	37.53	Lluvia	Iones-Metales
98	San Miguel	1260	22-may-10	39.49	Lluvia	Iones-Metales
99	La Joya	1259	22-may-10	36.25	Lluvia	Iones-Metales
100	Cañaveral	1258	22-may-10	40.56	Lluvia	Iones-Metales

Teniendo en cuenta los estudios anteriores en la ciudad y los compuestos esperados en las zonas consideradas, se seleccionaron las siguientes especies para analizar en los filtros:

Iones (4):

Aniones

- Cl^- (Cloruro)
- SO_4^{-2} (Sulfato)
- NO_3^- (Nitrato)

Cationes

- NH_4^+ (Amonio)

Metales (7³):

- SiO_2 (Sílice)
- Ca (Calcio)
- Pb (Plomo)
- Cu (Cobre)

³ Incluyendo el sílice

- Fe (Hierro)
- Zn (Zinc)
- Al (Aluminio)

Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos – PAHs (17)

- Acenafteno
- Acenaftileno
- Antraceno
- Benz[a]antraceno
- Benzo[a]pireno
- Benzo[b]fluoranteno
- Benzo[g,h,i]perileno
- Benzo[k]fluoranteno
- Criseno
- Dibenzo[a,h]antraceno
- Fluoranteno
- Fluoreno
- Indeno[1,2,3-cd]pireno
- Naftaleno
- Fenantreno
- Pireno
- 2-metilnaftaleno

Las muestras se almacenaban en el laboratorio de la CDMB, cuando se tenía un número de filtros considerables se transportaban al laboratorio Químico de Consultas Industriales de la Universidad Industrial de Santander para realizar los análisis por medio de los métodos de Absorción Atómica, Espectrofotometría, Nefelometría y Electrodo Ion Selectivo.

En el laboratorio de Cromatografía de la misma universidad se realizó el análisis de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAHs) utilizando Cromatografía de gases con detector selectivo de masas (GC-MS). En el anexo 4 se pueden consultar los reportes de laboratorio para todas las muestras analizadas.

RESULTADOS IONES-METALES

En los numerales siguientes se incluyen los resultados de los análisis físico-químicos obtenidos en el laboratorio a los filtros que se les analizaron iones y metales (ver tabla Tabla 7). Los valores que estuvieron por debajo del límite detectable (LD) del método, se asumieron como la mitad del LD para facilitar su análisis⁴.

⁴Dicha recomendación es sugerida en la documentación de los modelos receptor fuente utilizados en el estudio (Pág. 36 Manual PMF y pág. 4 Manual UNMIX).

El método utilizado para analizar cada especie y el respectivo límite detectable se presentan en la tabla 8.

Tabla 8 Métodos y límites detectables para análisis de las especies Iones-Metales

ESPECIE	MÉTODO	LD
Cloruro ($\mu\text{g Cl}^-/\text{g}$)	Titrimétrico	1923
Sulfato ($\mu\text{g SO}_4^{2-}/\text{g}$)	Turbidimétrico	37
Nitrato ($\mu\text{g NO}_3^-/\text{g}$)	Espectrofotométrico	19
Amonio ($\mu\text{g NH}_4^+/\text{g}$)	Destilación/Espectrofotométrico	39
Sílice ($\mu\text{g SiO}_2/\text{g}$)	Gravimétrico	59
Calcio ($\mu\text{g Ca}/\text{g}$)	Absorción Atómica	14
Plomo ($\mu\text{g Pb}/\text{g}$)	Absorción Atómica	53
Cobre ($\mu\text{g Cu}/\text{g}$)	Absorción Atómica	9
Hierro ($\mu\text{g Fe}/\text{g}$)	Absorción Atómica	25
Zinc ($\mu\text{g Zn}/\text{g}$)	Absorción Atómica	4
Aluminio ($\mu\text{g Al}/\text{g}$)	Absorción Atómica	38

SAN MIGUEL

En la figura 28 se pueden observar los resultados de los análisis de las muestras obtenidas en el punto de monitoreo San Miguel.

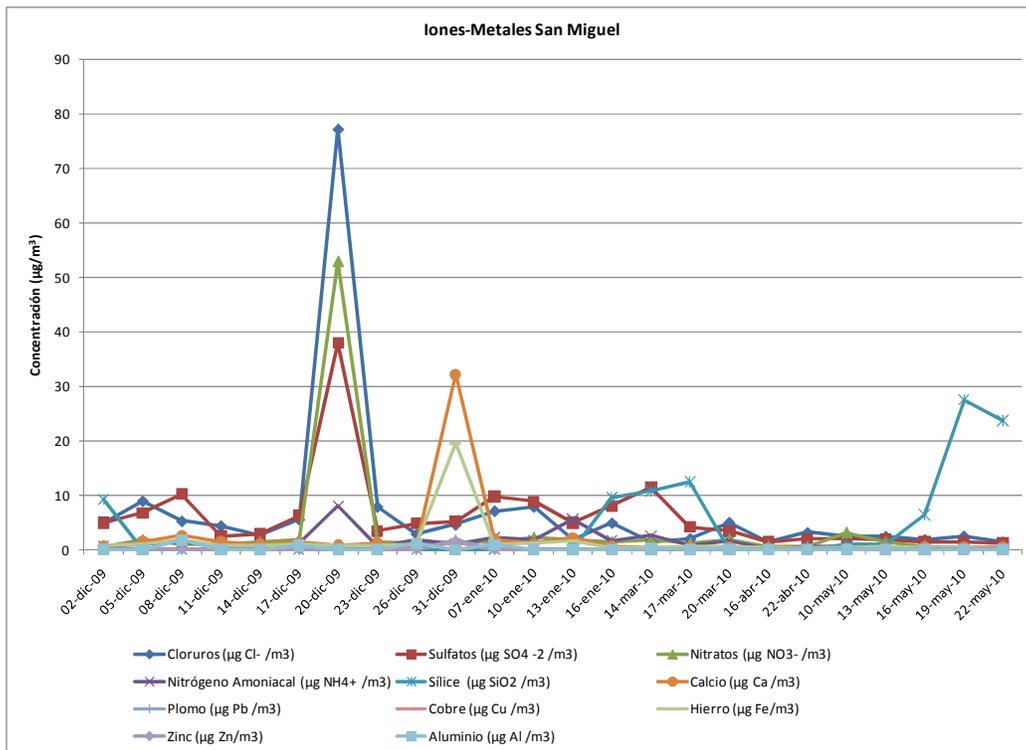


Figura 28 Resultados Iones-Metales San Miguel

En la tabla 9 se presentan el promedio, mínimo y máximo para los resultados obtenidos en el punto de monitoreo San Miguel.

Tabla 9. Parámetros estadísticos para Iones-Metales San Miguel ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

ESPECIE	DATOS	PROMEDIO	MIN	FECHA MIN	MAX	FECHA MAX
Cloruros (Cl ⁻)	24	7.09	1.42	22-may-10	77.19	20-dic-09
Sulfatos (SO ₄ ⁻²)	24	6.11	1.17	22-may-10	37.95	20-dic-09
Nitratos (NO ₃ ⁻)	24	3.47	0.46	19-may-10	52.88	20-dic-09
Amonio (NH ₄ ⁺)	24	1.48	0.05	22-may-10	7.98	20-dic-09
Sílice (SiO ₂)	24	4.24	0.001	20-dic-09	27.55	19-may-10
Calcio (Ca)	24	2.17	0.12	22-abr-10	32.20	31-dic-09
Plomo (Pb)	24	0.08	0.001	14-mar-10	1.82	31-dic-09
Cobre (Cu)	24	0.20	0.025	02-dic-09	1.47	31-dic-09
Hierro (Fe)	24	1.50	0.22	22-may-10	19.49	31-dic-09
Zinc (Zn)	24	0.15	0.02	14-mar-10	1.57	31-dic-09
Aluminio (Al)	24	0.21	0.001	16-may-10	1.78	08-dic-09

LA JOYA

En la figura 29 se pueden observar los resultados de los análisis de las muestras obtenidas en el punto de monitoreo La Joya.

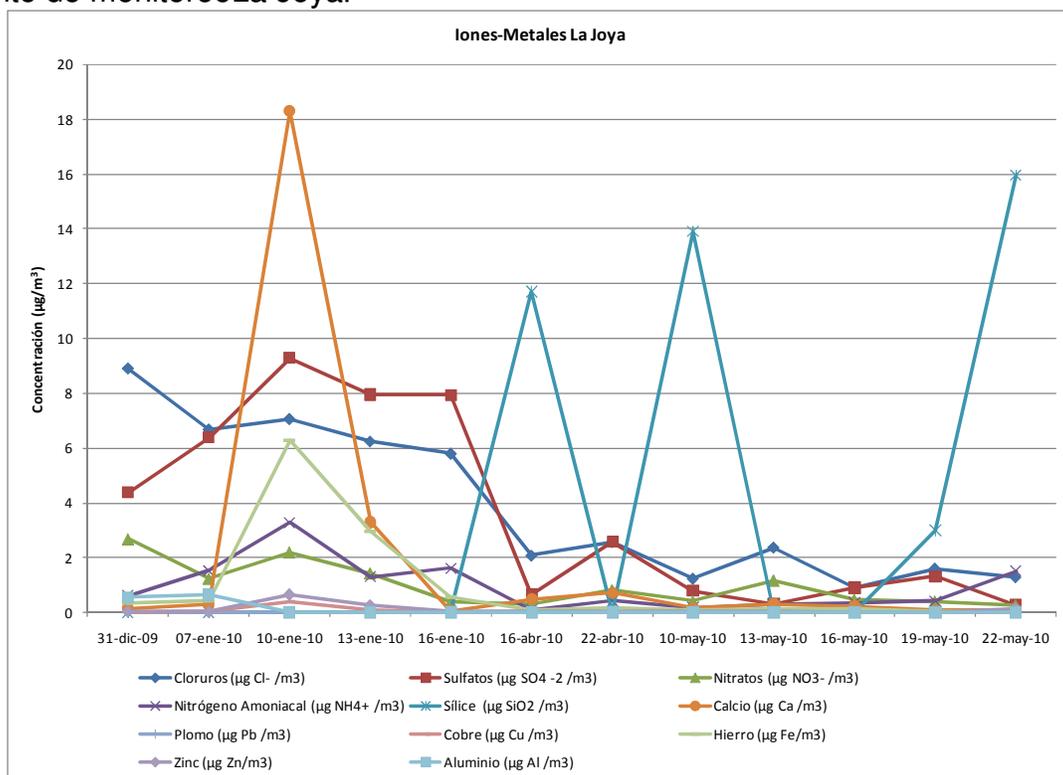


Figura 29. Resultados de Iones-Metales La Joya

En la Tabla 10 se presentan el promedio, mínimo y máximo para los resultados obtenidos en el punto de monitoreo La Joya.

Tabla 10. Parámetros estadísticos Iones-Metales La Joya ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

ESPECIE	DATOS	PROMEDIO	MIN	FECHA MIN	MAX	FECHA MAX
Cloruros (Cl ⁻)	12	3.90	0.90	16-may-10	8.91	31-dic-09
Sulfatos (SO ₄ -2)	12	3.56	0.28	22-may-10	9.29	10-ene-10
Nitratos (NO ₃ ⁻)	12	0.99	0.27	22-may-10	2.68	31-dic-09
Amonio (NH ₄ ⁺)	12	0.97	0.11	16-abr-10	3.28	10-ene-10
Sílice (SiO ₂)	12	3.71	0.001	07-ene-10	15.96	22-may-10
Calcio (Ca)	12	2.02	0.06	16-ene-10	18.29	10-ene-10
Plomo (Pb)	12	0.01	0.001	16-abr-10	0.03	10-may-10
Cobre (Cu)	12	0.06	0.004	19-may-10	0.38	10-ene-10
Hierro (Fe)	12	0.94	0.05	19-may-10	6.27	10-ene-10
Zinc (Zn)	12	0.11	0.01	19-may-10	0.64	10-ene-10
Aluminio (Al)	12	0.10	0.001	16-abr-10	0.65	07-ene-10

RICAURTE

En la Figura 30 se pueden observar los resultados de los análisis de las muestras obtenidas en el punto de monitoreo Ricaurte.

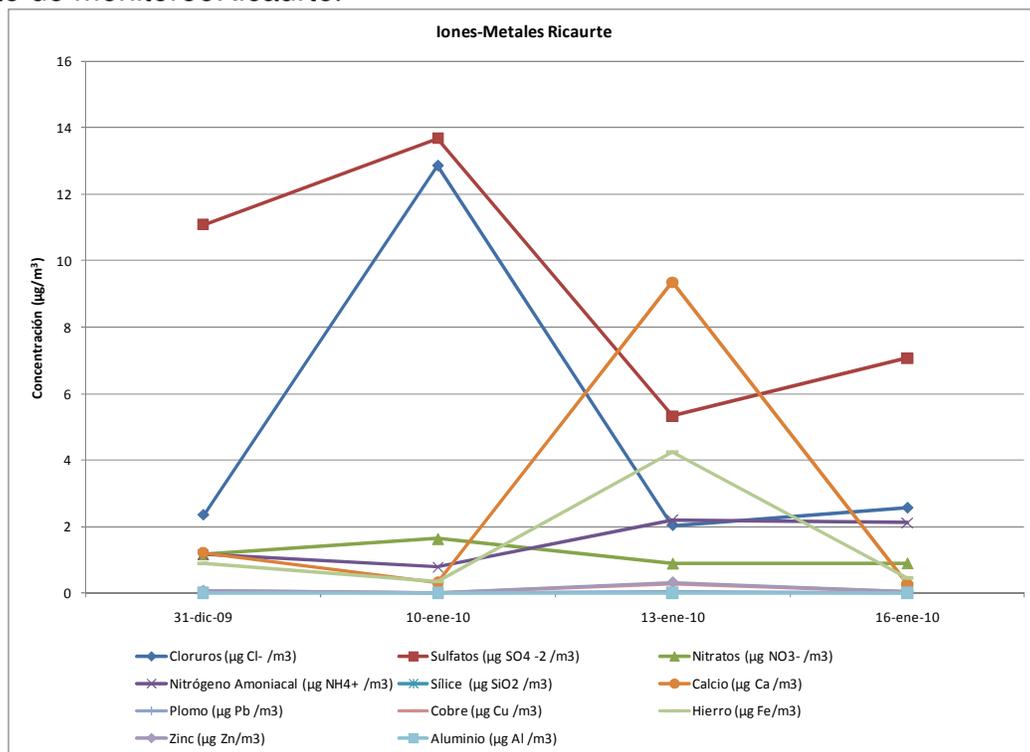


Figura 30. Resultados Iones-Metales Ricaurte

En la tabla 11 se presentan el promedio, mínimo y máximo para los resultados obtenidos en el punto de monitoreo Ricaurte.

Tabla 11. Parámetros estadísticos Iones-Metales Ricaurte ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

ESPECIE	DATOS	PROMEDIO	MIN	FECHA MIN	MAX	FECHA MAX
Cloruros (Cl^-)	4	4.95	2.03	13-ene-10	12.85	10-ene-10
Sulfatos (SO_4^{-2})	4	9.29	5.32	13-ene-10	13.68	10-ene-10
Nitratos (NO_3^-)	4	1.15	0.90	13-ene-10	1.63	10-ene-10
Amonio (NH_4^+)	4	1.56	0.78	10-ene-10	2.19	13-ene-10
Sílice (SiO_2)	4	0.00	0.001	13-ene-10	0.00	16-ene-10
Calcio (Ca)	4	2.79	0.26	16-ene-10	9.35	13-ene-10
Plomo (Pb)	4	0.02	0.003	10-ene-10	0.04	31-dic-09
Cobre (Cu)	4	0.10	0.020	10-ene-10	0.27	13-ene-10
Hierro (Fe)	4	1.48	0.34	10-ene-10	4.23	13-ene-10
Zinc (Zn)	4	0.11	0.02	10-ene-10	0.31	13-ene-10
Aluminio (Al)	4	0.002	0.001	16-ene-10	0.002	10-ene-10

CAÑAVERAL

En la figura 30 se pueden observar los resultados de los análisis de las muestras obtenidas en el punto de monitoreo Cañaverál.

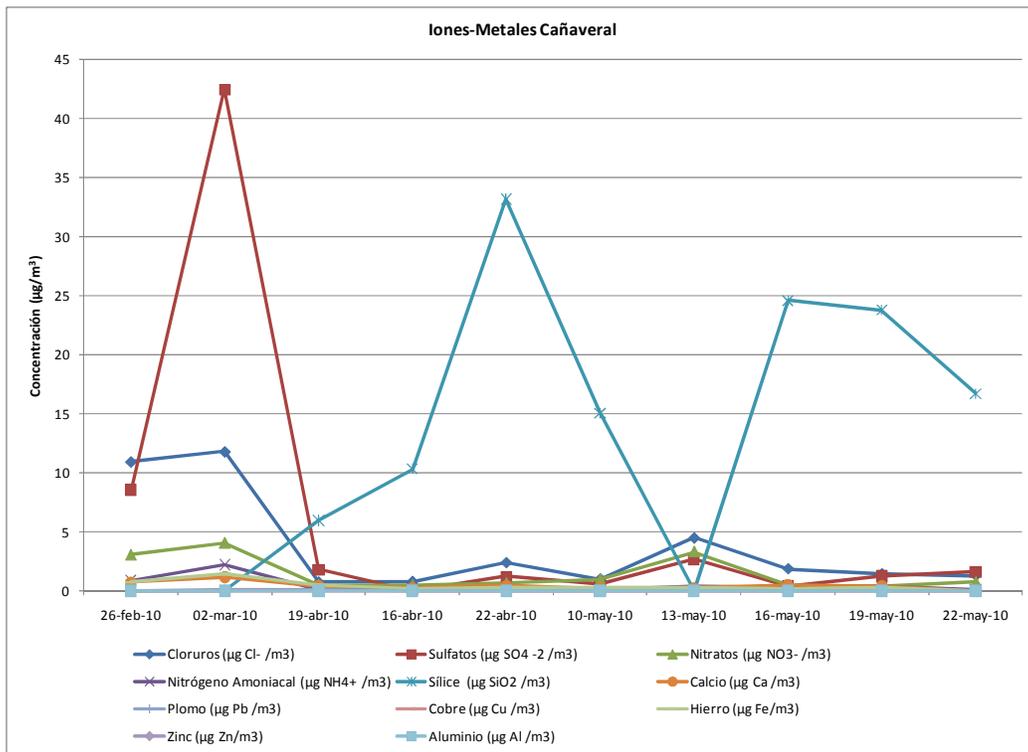


Figura 30. Resultados de Iones-Metales Ricaurte

En la tabla 12 se presentan el promedio, mínimo y máximo para los resultados obtenidos en el punto de monitoreo Cañaverál.

Tabla 12. Parámetros estadísticos Iones-Metales Cañaverál ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

ESPECIE	DATOS	PROMEDIO	MIN	FECHA MIN	MAX	FECHA MAX
Cloruros (Cl ⁻)	10	3.68	0.74	19-abr-10	11.81	02-mar-10
Sulfatos (SO ₄ ⁻²)	10	6.07	0.04	16-abr-10	42.45	02-mar-10
Nitratos (NO ₃ ⁻)	10	1.48	0.38	19-may-10	4.07	02-mar-10
Amonio (NH ₄ ⁺)	10	0.53	0.12	19-abr-10	2.23	02-mar-10
Sílice (SiO ₂)	10	12.96	0.001	26-feb-10	33.16	22-abr-10
Calcio (Ca)	10	0.45	0.05	22-may-10	1.15	02-mar-10
Plomo (Pb)	10	0.01	0.001	10-may-10	0.04	02-mar-10
Cobre (Cu)	10	0.01	0.001	22-may-10	0.02	26-feb-10
Hierro (Fe)	10	0.44	0.04	22-may-10	1.45	02-mar-10
Zinc (Zn)	10	0.04	0.01	22-may-10	0.09	19-abr-10
Aluminio (Al)	10	0.002	0.001	10-may-10	0.003	02-mar-10

CONSOLIDADOS AMB

En la tabla 13 se presentan el promedio, mínimo y máximo para todos los resultados obtenidos en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

Tabla 13. Parámetros estadísticos Iones-Metales AMB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

ESPECIE	PROMEDIO	MIN	FECHA MIN	MAX	FECHA MAX
Cloruros (Cl ⁻)	5.47	0.74	19-abr-10	77.19	20-dic-09
Sulfatos (SO ₄ ⁻²)	5.75	0.04	16-abr-10	42.45	02-mar-10
Nitratos (NO ₃ ⁻)	2.29	0.27	22-may-10	52.88	20-dic-09
Amonio (NH ₄ ⁺)	1.17	0.05	22-may-10	7.98	20-dic-09
Sílice (SiO ₂)	5.52	0.001	20-dic-09	33.16	22-abr-10
Calcio (Ca)	1.84	0.05	22-may-10	32.20	31-dic-09
Plomo (Pb)	0.04	0.001	16-abr-10	1.82	31-dic-09
Cobre (Cu)	0.12	0.001	22-may-10	1.47	31-dic-09
Hierro (Fe)	1.15	0.04	22-may-10	19.49	31-dic-09
Zinc (Zn)	0.11	0.01	22-may-10	1.57	31-dic-09
Aluminio (Al)	0.13	0.001	16-abr-10	1.78	08-dic-09

Con base en los promedios de iones y metales hallados para toda Bucaramanga, en la figura 31 se presenta el porcentaje de iones-metales en todos los filtros con muestras de PM₁₀ analizados. En dicha figura se puede apreciar que los cloruros, sulfatos y sílice son los principales iones encontrados en el AMB. Es de notar que el aporte del plomo y el zinc son los que tienen una menor proporción.

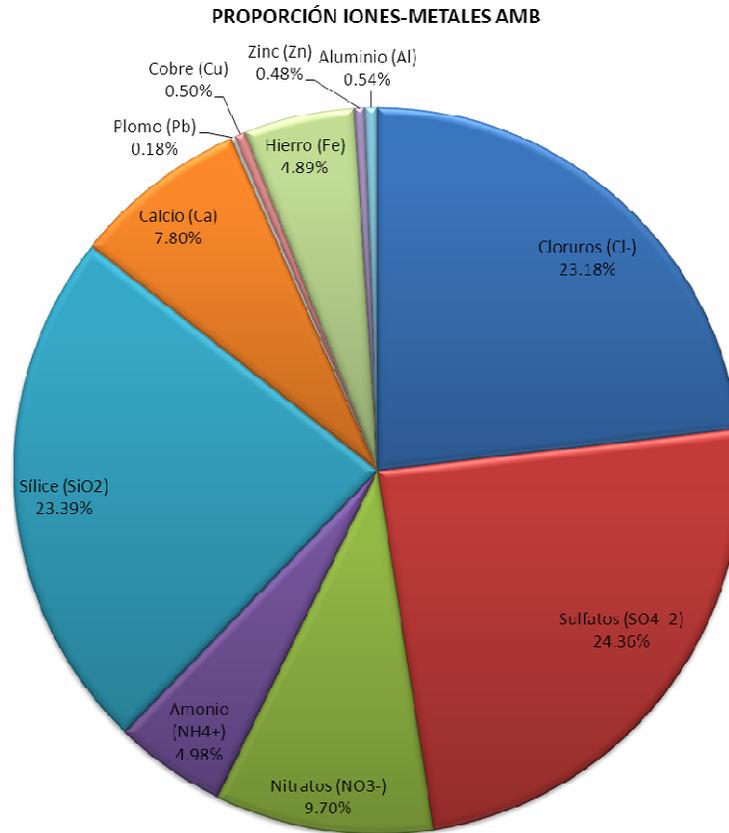


Figura 31. Proporciones promedio de Iones-Metales AMB

En la figura 32 se presentan las proporciones realizadas para cada zona analizada en el estudio. En dicha figura se puede apreciar que los cloruros y sulfatos representan cerca del 40% de los iones-metales en las zonas evaluadas. Adicionalmente se aprecia una gran variabilidad en el porcentaje del sílice, presentándose el mayor valor de concentración de este metal en Cañaveral posiblemente causado por las obras en la infraestructura vial en cercanías a la estación de monitoreo. Las composiciones encontradas en San Miguel y La Joya son similares, mientras que en Ricaurte predomina los sulfatos y en Cañaveral el sílice como se mencionó anteriormente.

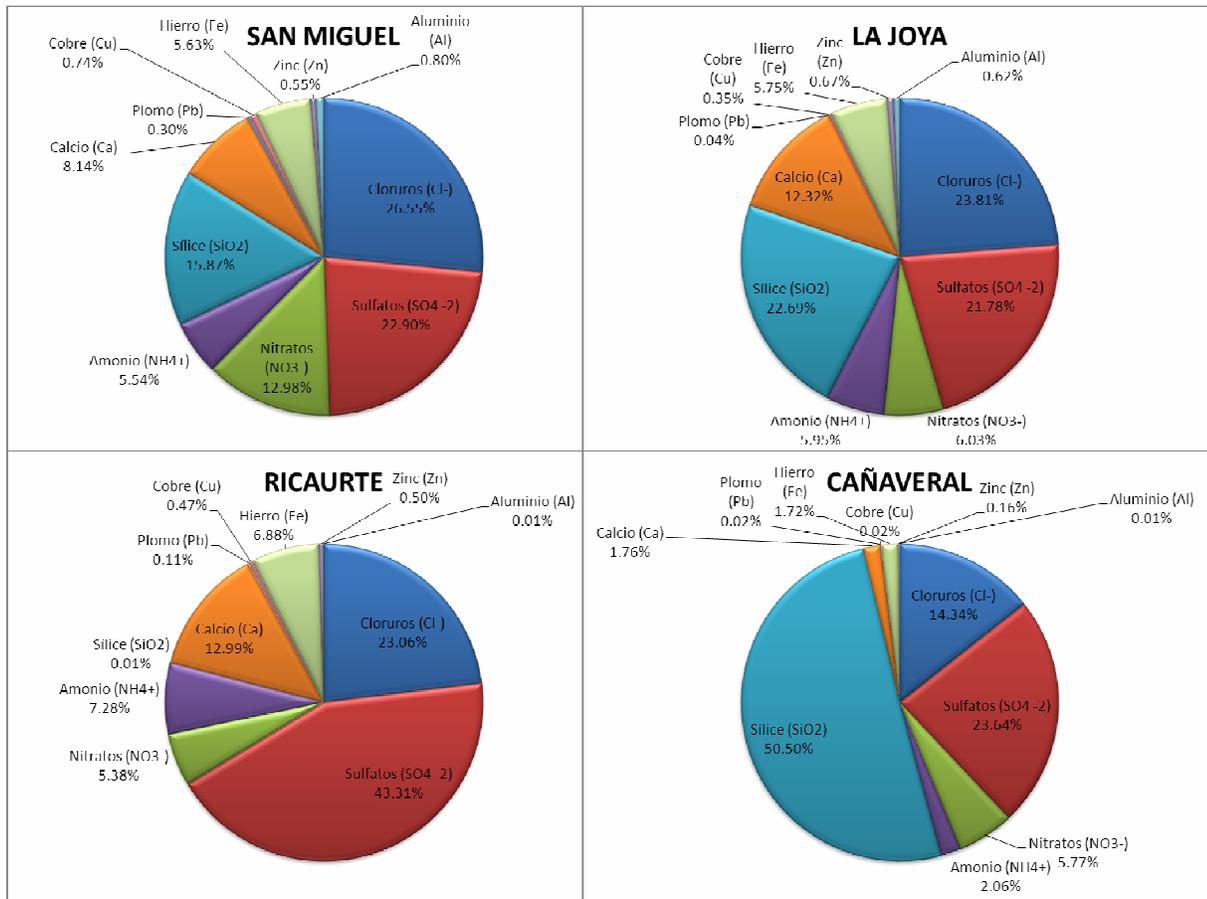


Figura 32. Proporciones promedio de Iones-Metales por Zonas

COMPARACIÓN DE RESULTADOS (IONES-METALES)

En la figura 33 se comparan, de modo indicativo, los resultados obtenidos para Iones en el estudio (color verde), con otros resultados obtenidos en Bucaramanga⁵ y Bogotá⁶ en el 2007.

⁵Caracterización del material particulado menor a 10 micras en Bucaramanga. Universidad de la Salle, 2007.

⁶Definición de elementos técnicos para la formulación de políticas distritales encaminadas al mejoramiento de la calidad del aire en Bogotá. Parte C- Caracterización de material particulado y modelos receptores. Behrentz et al, Universidad de los Andes, 2008.

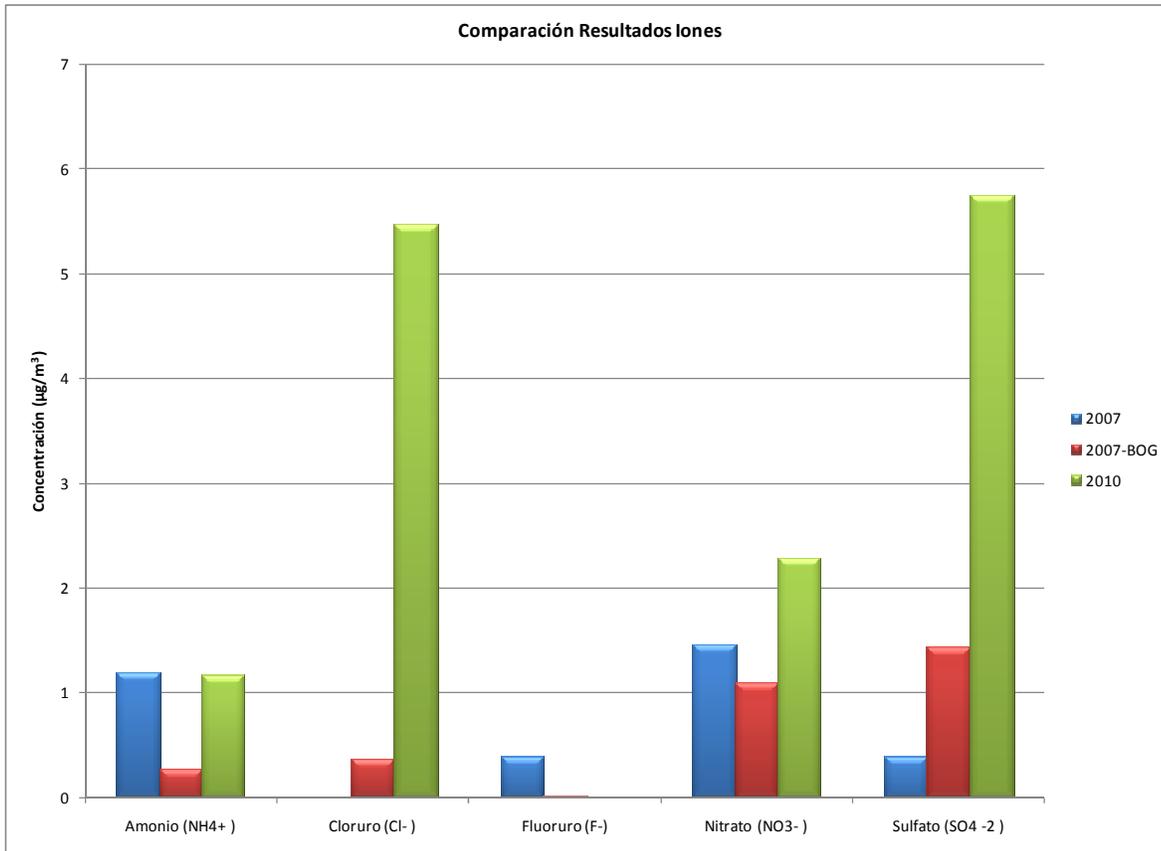


Figura 33. Comparación de Resultados de Iones en los estudios en Bucaramanga y Bogotá

En la figura anterior se observa que los aportes de amonio presentan resultados similares a los obtenidos en el estudio desarrollado en el 2007 en Bucaramanga y solo los nitratos presentan niveles cercanos en los tres estudios (BUC07, BOG07 y BUC10).

En la figura 34 se comparan los resultados obtenidos para metales en el estudio, con otros resultados obtenidos en Bucaramanga⁷ entre los años 1997 y 1999; y Bogotá en el 2007. De dicha figura se puede apreciar que las concentraciones más bajas siempre se presentan para el plomo, cobre y zinc, adicionalmente se destaca que los niveles de plomo y calcio son menores que los hallados en Bucaramanga en el 2007.

⁷Caracterización físico-química del material particulado-fracción respirable (PM10) en aire de Bucaramanga. Guiza, L., Puente J. y Quijano, A. Revista Clon, 2002.

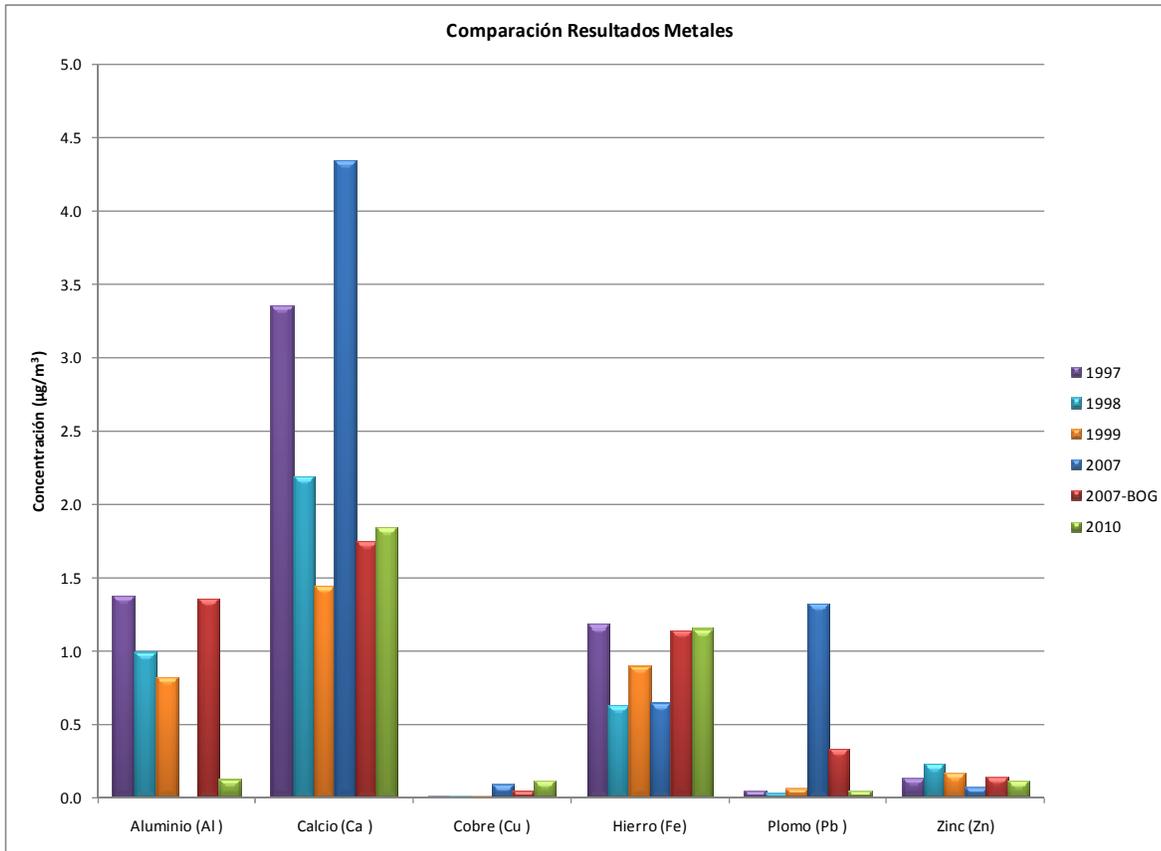


Figura 34. Comparaciones de los Resultados de Metales contenidos en el PM₁₀

RESULTADOS DE HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (PAHs)

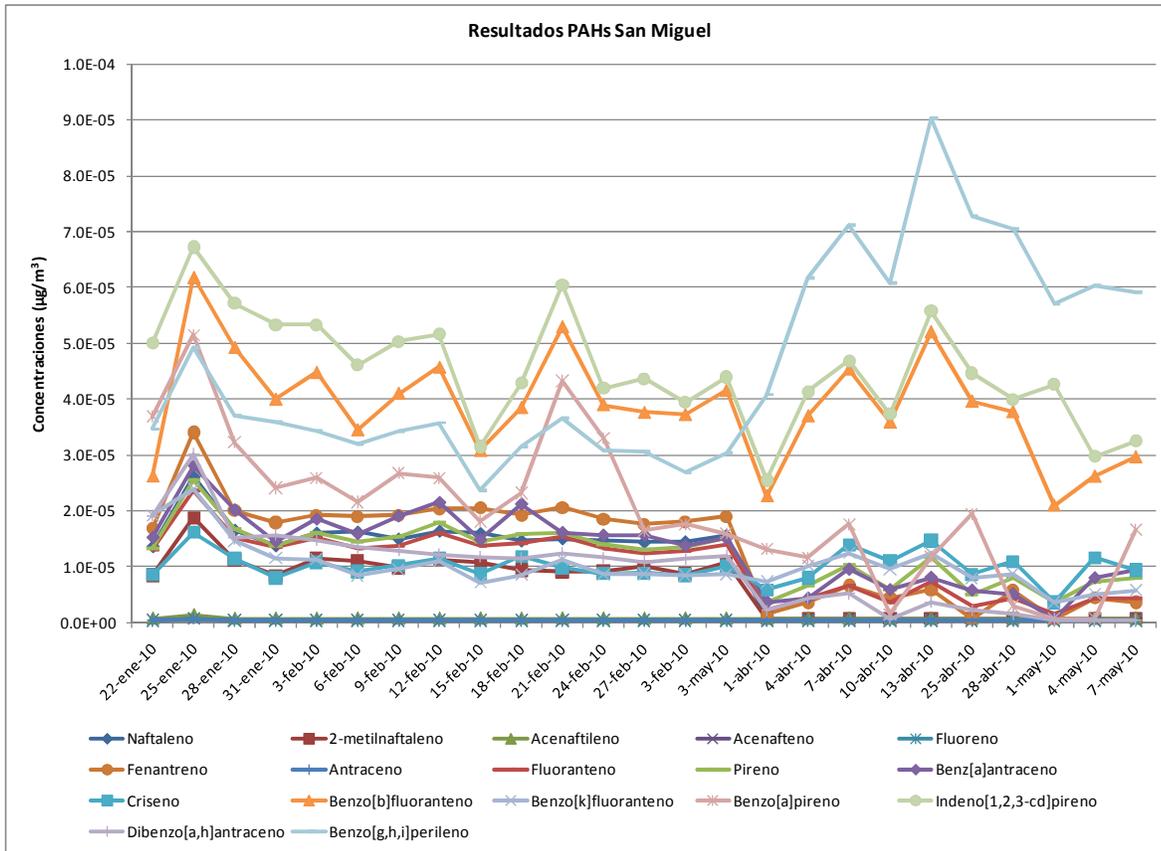
En los numerales siguientes se incluyen los resultados de los análisis físico-químicos obtenidos en laboratorio para los PAHs⁸ en los filtros seleccionados (ver Tabla 7). Los valores que estuvieron por debajo del límite detectable (LD) del método, se asumieron como la mitad del LD para facilitar el análisis⁹. Todos los PAHs se analizaron por medio de la técnica de cromatografía.

SAN MIGUEL

En la figura 35 se pueden observar los resultados de los análisis de las muestras obtenidas en el punto de monitoreo San Miguel.

⁸Sigla en inglés de Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, en español HAPs (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos)

⁹Dicha recomendación es sugerida en la documentación de los modelos receptor fuente utilizados en el estudio (Pág. 36 Manual PMF y pág. 4 Manual UNMIX).



En la tabla 14 se presentan los valores promedio, mínimo y máximo para los 5 PAHs con los mayores resultados promedio obtenidos en el punto de monitoreo San Miguel. Estos cinco componentes son los de mayor significancia en términos porcentuales en los PAHs y provienen principalmente de¹⁰ quemas, humo de cigarrillo, restaurantes y asaderos, motores diesel, motores a gasolina y cocinas residenciales que utilizan leña.

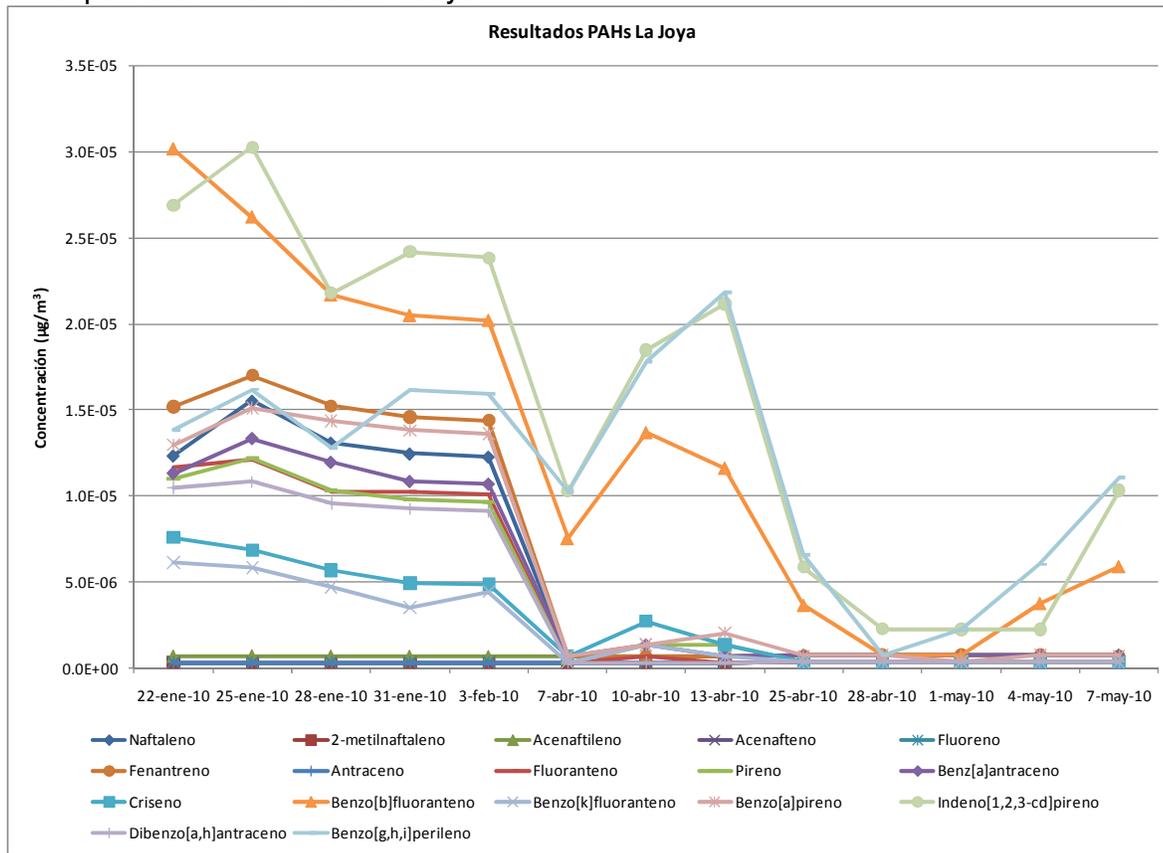
Tabla 14. Distribución de las concentraciones de PAHs en la Estación San Miguel ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

ESPECIE	Fenantreno	Benzo[b]fluoranteno	Benzo[a]pireno	Indeno[1,2,3-cd]pireno	Benzo[g,h,i]perileno
DATOS	25	25	25	25	25
PROMEDIO	1.35E-05	3.87E-05	2.03E-05	4.52E-05	4.59E-05
MIN	7.21E-07	2.10E-05	7.23E-07	2.55E-05	2.36E-05
FECHA MIN	25-abr-10	1-may-10	1-may-10	1-abr-10	15-feb-10
MAX	3.41E-05	6.19E-05	5.15E-05	6.73E-05	9.03E-05
FECHA MAX	25-ene-10	25-ene-10	25-ene-10	25-ene-10	13-abr-10

¹⁰ Fuentes extraídas de SPECIATE 4.2 (solo se transcriben las que están presentes en el AMB)

LA JOYA

En la figura 36 se pueden observar los resultados de los análisis de las muestras obtenidas en el punto de monitoreo La Joya.



En la tabla 15 se presentan el promedio, mínimo y máximo para los 5 PAHs con los mayores resultados promedio obtenidos en el punto de monitoreo La Joya.

Tabla 15. Distribución de las concentraciones de PAHs en la Estación La Joya ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

ESPECIE	Fenantreno	Benzo[b]fluoranteno	Benzo[a]pireno	Indeno[1,2,3-cd]pireno	Benzo[g,h,i]perileno
DATOS	13	13	13	13	13
PROMEDIO	6.32E-06	1.28E-05	5.95E-06	1.54E-05	1.17E-05
MIN	6.83E-07	7.49E-07	3.75E-07	2.25E-06	7.59E-07
FECHA MIN	13-abr-10	1-may-10	1-may-10	1-may-10	28-abr-10
MAX	1.70E-05	3.01E-05	1.51E-05	3.03E-05	2.19E-05
FECHA MAX	25-ene-10	22-ene-10	25-ene-10	25-ene-10	13-abr-10

RICAURTE

En la figura 37 se pueden observar los resultados de los análisis de las muestras obtenidas en el punto de monitoreo Ricaurte.

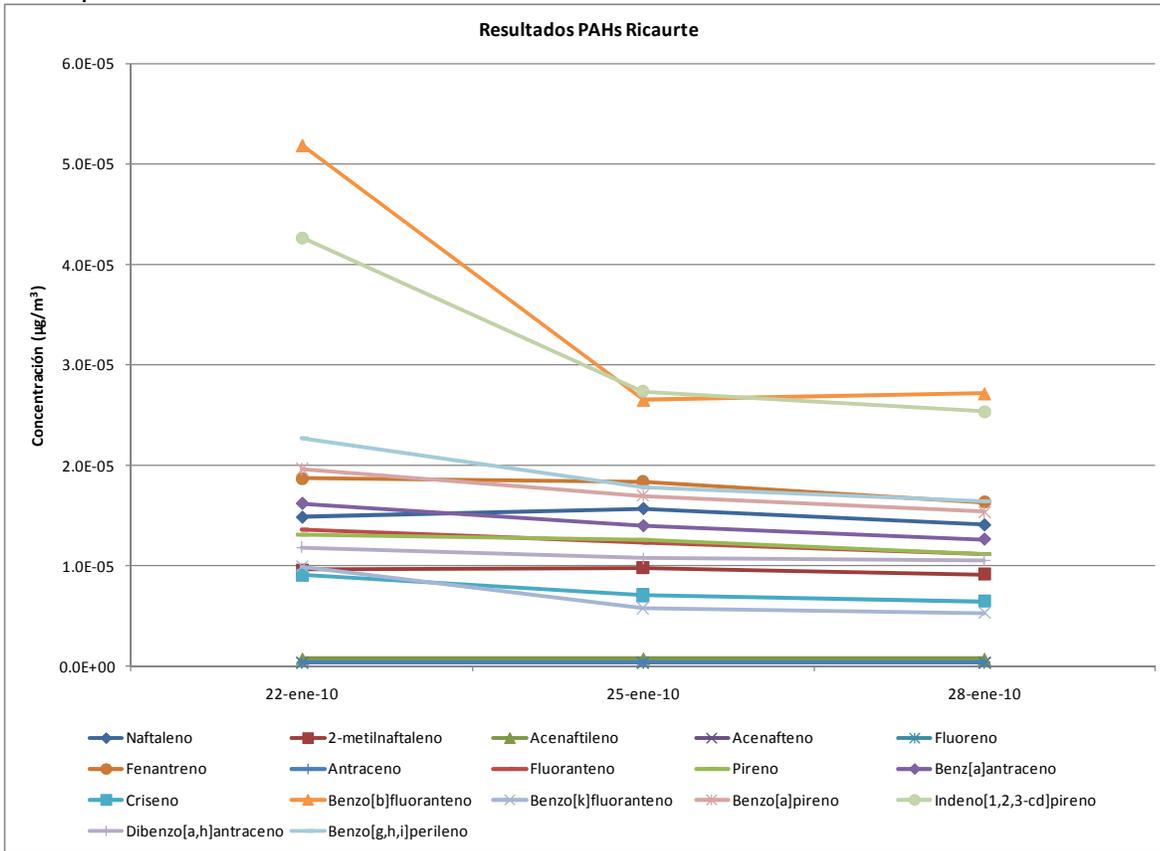


Figura 37. Resultados PAHs Ricaurte

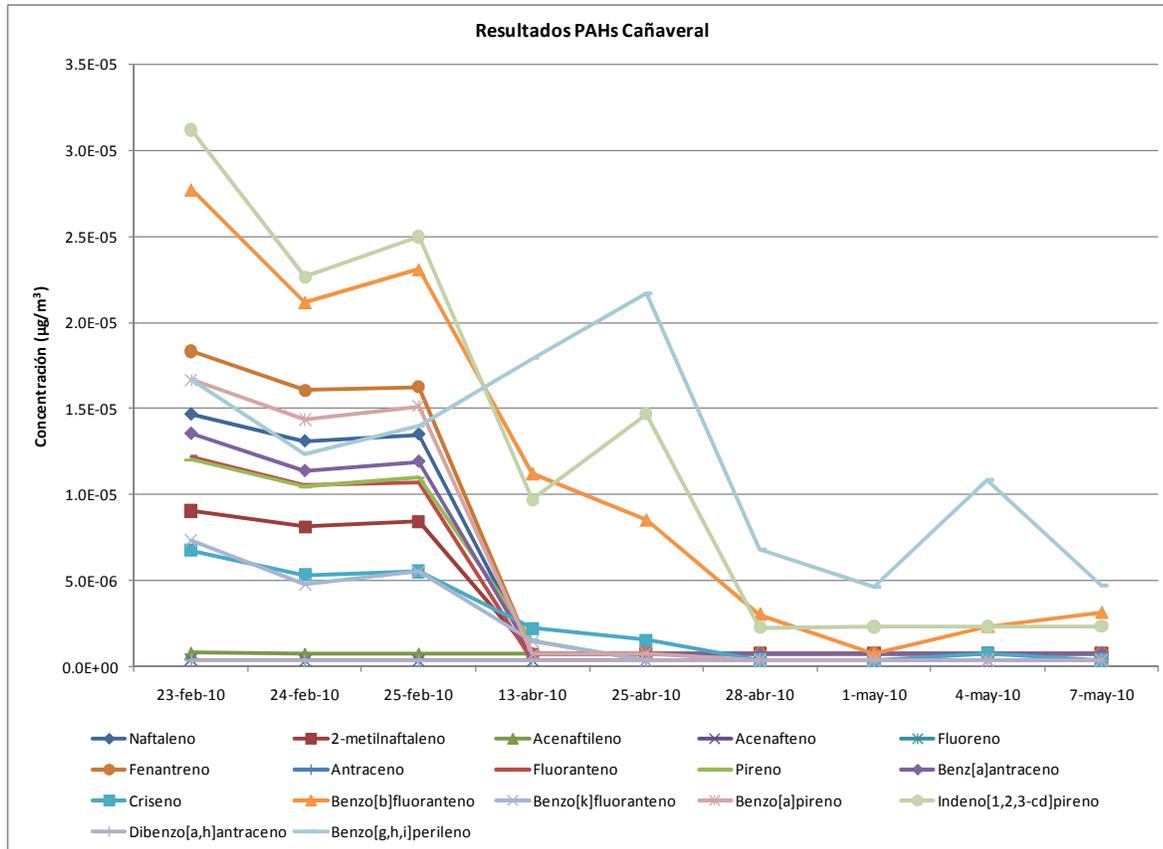
En la tabla 16 se presentan el promedio, mínimo y máximo para los 5 PAHs con los mayores resultados promedio obtenidos en el punto de monitoreo Ricaurte.

Tabla 16. Distribución de las concentraciones de PAHs en la Estación Ricaurte ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

ESPECIE	Fenantreno	Benzo[b]fluoranteno	Benzo[a]pireno	Indeno[1,2,3-cd]pireno	Benzo[g,h,i]perileno
DATOS	3	3	3	3	3
PROMEDIO	1.78E-05	3.52E-05	1.73E-05	3.18E-05	1.90E-05
MIN	1.63E-05	2.65E-05	1.53E-05	2.53E-05	1.64E-05
FECHA MIN	28-ene-10	25-ene-10	28-ene-10	28-ene-10	28-ene-10
MAX	1.87E-05	5.19E-05	1.96E-05	4.26E-05	2.27E-05
FECHA MAX	22-ene-10	22-ene-10	22-ene-10	22-ene-10	22-ene-10

CAÑAVERAL

En la figura 38 se pueden observar los resultados de los análisis de las muestras obtenidas en el punto de monitoreo Cañaverál.



En la tabla 17 se presentan el promedio, mínimo y máximo para los 5 PAHs con los mayores resultados promedio obtenidos en el punto de monitoreo Cañaverál.

Tabla 17. Distribución de las concentraciones de PAHs en la Estación Cañaverál ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

ESPECIE	Fenantreno	Benzo[b]fluoranteno	Benzo[a]pireno	Indeno[1,2,3-cd]pireno	Benzo[g,h,i]perileno
DATOS	9	9	9	9	9
PROMEDIO	6.14E-06	1.12E-05	5.47E-06	1.25E-05	1.22E-05
MIN	7.46E-07	7.77E-07	3.79E-07	2.28E-06	4.66E-06
FECHA MIN	13-abr-10	1-may-10	28-abr-10	28-abr-10	1-may-10
MAX	1.83E-05	2.77E-05	1.67E-05	3.12E-05	2.17E-05
FECHA MAX	23-feb-10	23-feb-10	23-feb-10	23-feb-10	25-abr-10

CONSOLIDADOS AMB

En la tabla 18 se presentan el promedio, mínimo y máximo para los 5 PAHs con los mayores resultados promedio obtenidos el Área Metropolitana de Bucaramanga.

Tabla 18. Parámetros estadísticos PAHs AMB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

ESPECIE	Fenantreno	Benzo[b]fluoranteno	Benzo[a]pireno	Indeno[1,2,3-cd]pireno	Benzo[g,h,i]perileno
DATOS	50	50	50	50	50
PROMEDIO	1.06E-05	2.68E-05	1.37E-05	3.07E-05	2.93E-05
MIN	6.83E-07	7.49E-07	3.75E-07	2.25E-06	7.59E-07
FECHA MIN	13-abr-10	1-may-10	1-may-10	1-may-10	28-abr-10
MAX	3.41E-05	6.19E-05	5.15E-05	6.73E-05	9.03E-05
FECHA MAX	25-ene-10	25-ene-10	25-ene-10	25-ene-10	13-abr-10

Con los promedios de PAHs determinados para toda Bucaramanga, en la figura 39 se presenta el porcentaje de cada especie en todos los filtros analizados con muestras de PM_{10} . Es de notar que algunas sustancias tienen un aporte despreciable en términos porcentuales.

Proporción PAHs AMB

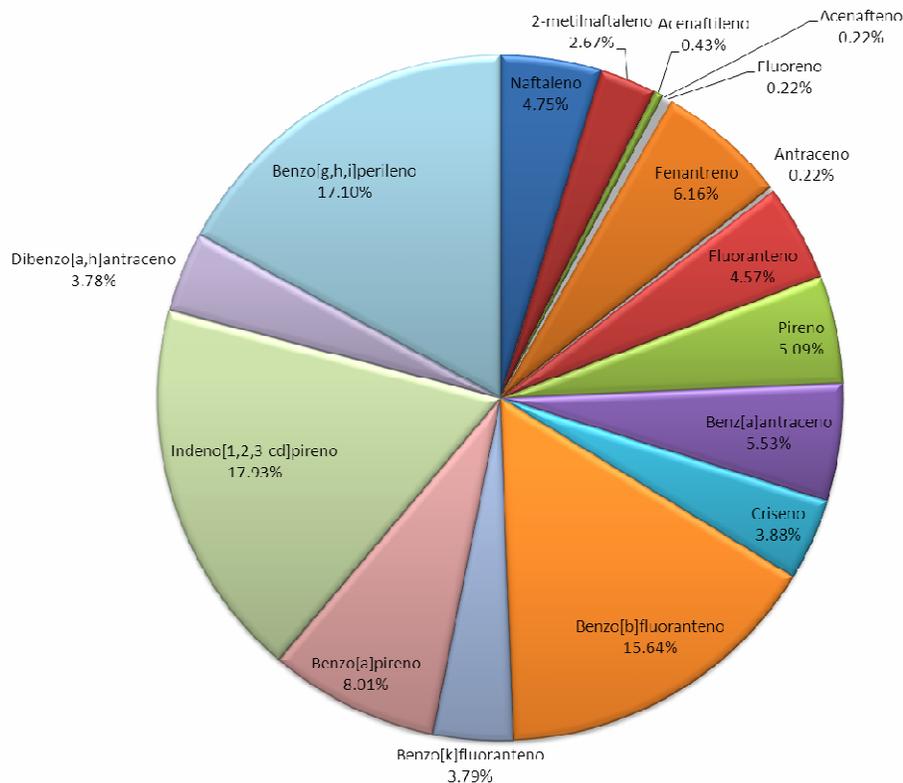


Figura 39. Proporciones promedio de PAHs AMB

En la figura 40 se presentan las proporciones de PAHs realizadas para cada zona analizada en el estudio. En la figura se puede apreciar que los principales PAHs encontrados en las zonas analizadas son Indeno[1,2,3-cd]pireno, Benzo[g,h,i]perileno, Benzo[b]fluoranteno, y Benzo[a]pireno. Es de notar que la composición de los PAHs en los diferentes sitios evaluados es similar. Solo Dibenzo[a,h]antraceno no se encuentra en Cañaveral en niveles similares a los de las otras zonas evaluadas (0.5% contra 4% a 5%).

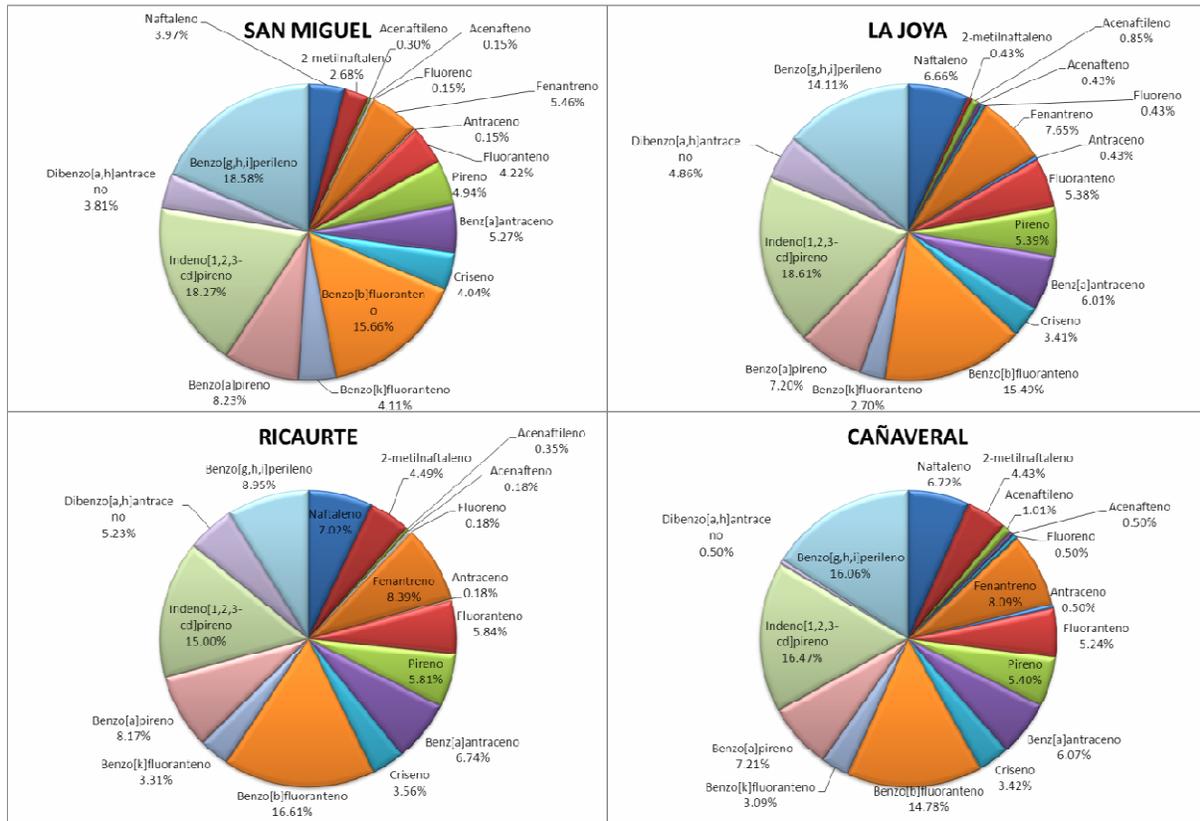


Figura 40. Proporciones promedio PAHs por Zonas

COMPARACIÓN DE RESULTADOS PAHs

En la Figura 41 se comparan de modo indicativo los resultados obtenidos para los PAHs en el estudio con otros resultados obtenidos en Bucaramanga en el 2007. Cabe notar que a diferencia de toda la sección los resultados en la figura se encuentran en ng/m^3 (2007 eje Y izquierdo y 2010 eje Y derecho). Al observar la figura resulta evidente que los resultados obtenidos en el 2010, son mucho menores que los del 2007, se constata en el gráfico que el mayor valor del 2010 ($\sim 3\text{E}-02$ o $0.03 \text{ ng}/\text{m}^3$) no es ni el 0.5% del mayor valor obtenido en el 2007 ($100 \text{ ng}/\text{m}^3$).

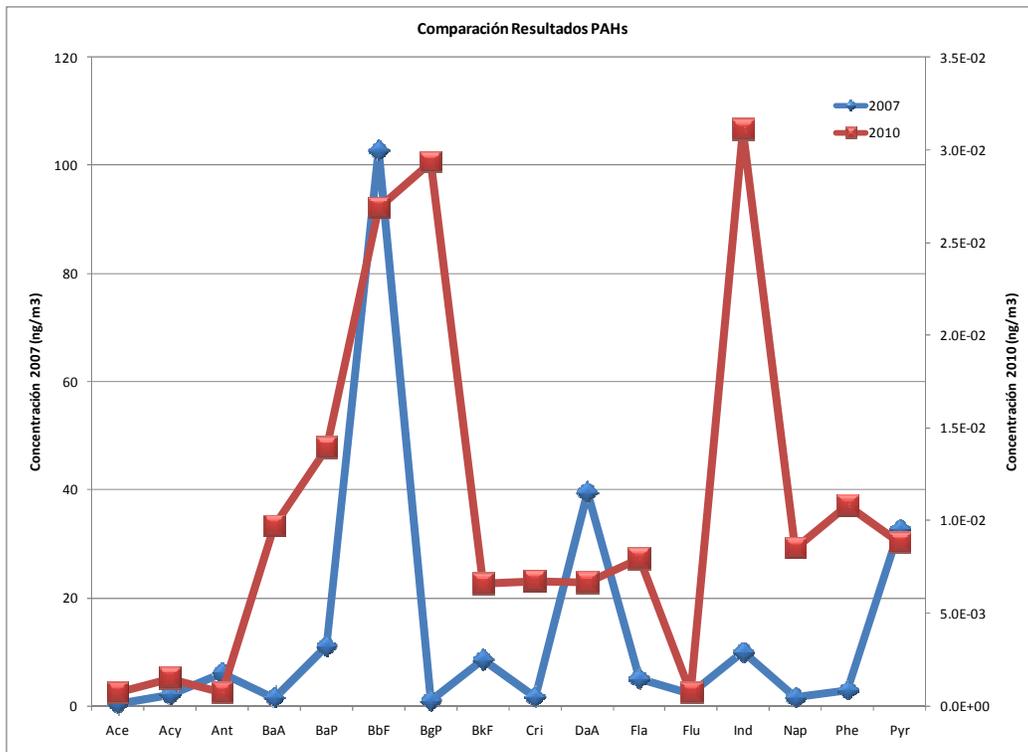


Figura 41. Comparaciones Resultados mediciones PAHs AMB años 2007 vs. 2010

RESULTADOS DE CARBÓN NEGRO

El Carbón Negro (Black Carbón – BC) puede considerarse equivalente al Carbón Elemental (Elemental Carbon – EC)¹¹ y se ha determinado que es un indicador importante de procesos de combustión (humos de cigarrillos, quemaduras de madera y en especial los motores Diesel¹²). Su determinación se puede realizar mediante análisis de laboratorio a través de los métodos de reflexión termo – óptico (TOR), transmisión termo – óptico (TOT), oxidación térmica con dióxido de manganeso (TMO) y el análisis termogravimétrico (TGA)¹³ y a través de equipos de monitoreo en tiempo real como el etalómetro. Para el presente estudio el MAVDT proporcionó un etalómetro marca MageeScientific el cual fue ubicado en la Estación Centro.

En la figura 42 se presenta el promedio diario para las concentraciones de BC obtenidas en la Estación Centro entre enero y mayo de 2010.

¹¹Tal como se afirma en el manual del etalómetro: TheAethalometer. MageeScientific, 2005. Pág. 8.

¹²Ibíd, Pág. 9.

¹³ Se puede encontrar una descripción de cada método en las páginas 27-30 en el trabajo: Evaluación de la concentración de carbono orgánico y carbono elemental contenidos en material particulado de PM10 en la localidad de Puente Aranda, en ambientes intra y extramurales. Díaz, A. y González, J. Proyecto de grado Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. 2008.

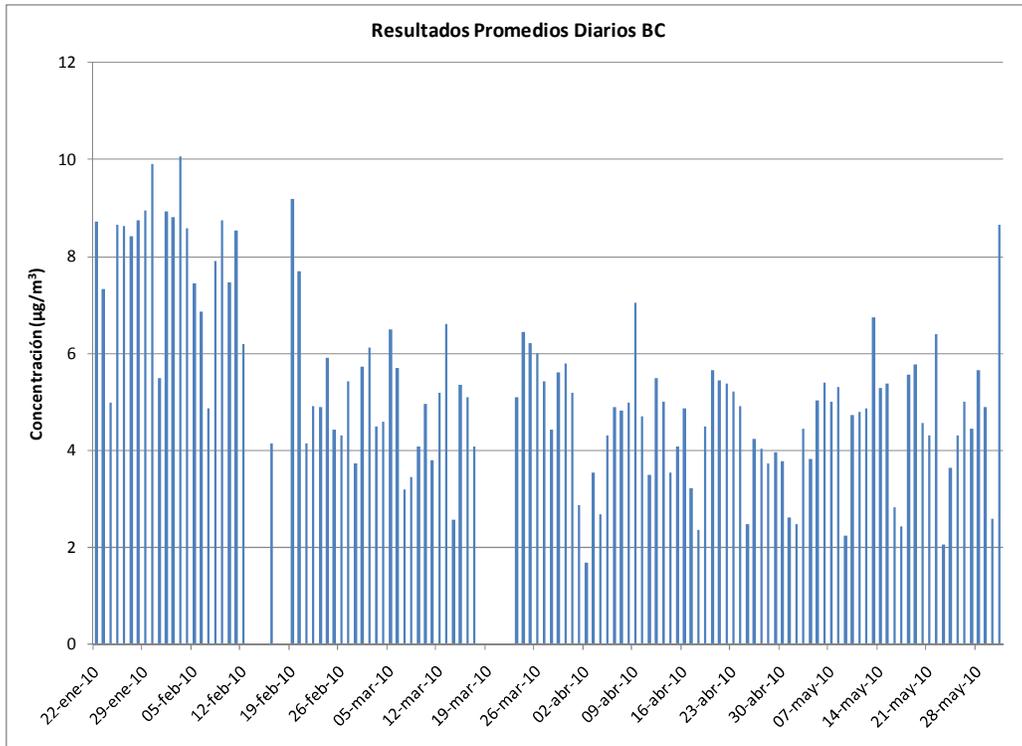


Figura42. Resultados promedios diarios BC Centro

En la figura 43 se presentan los promedios horarios obtenidos entre enero y mayo de 2010 con el etalómetro.

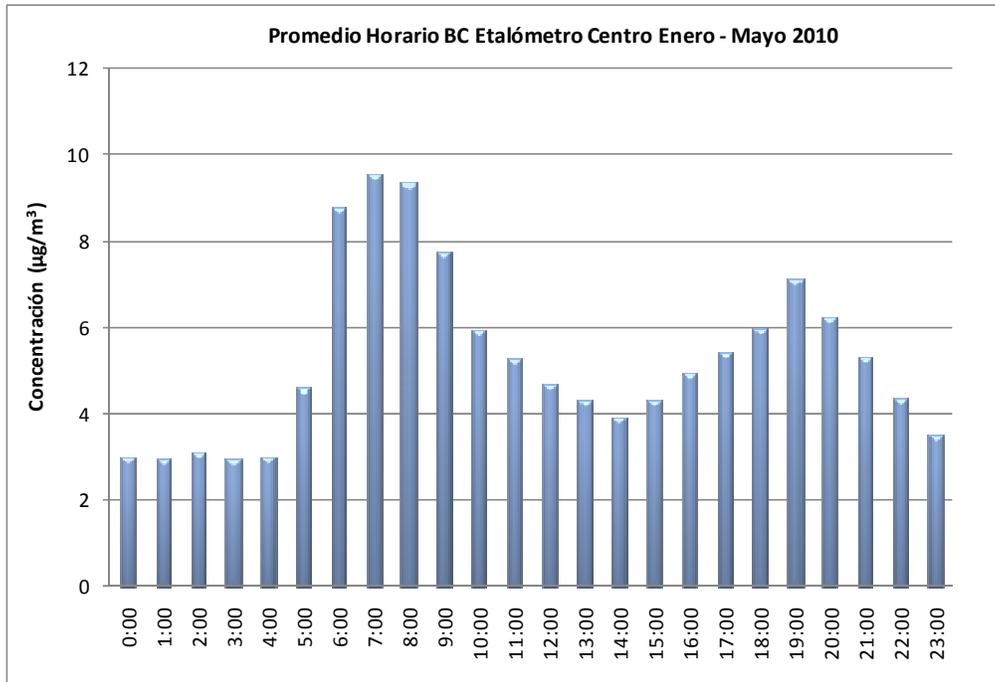


Figura 43. Resultados de lospromedios horarios BC Centro

En la figura44 se comparan los resultados promedios horarios obtenidos para BC con los de PM₁₀ en la Estación Centro.

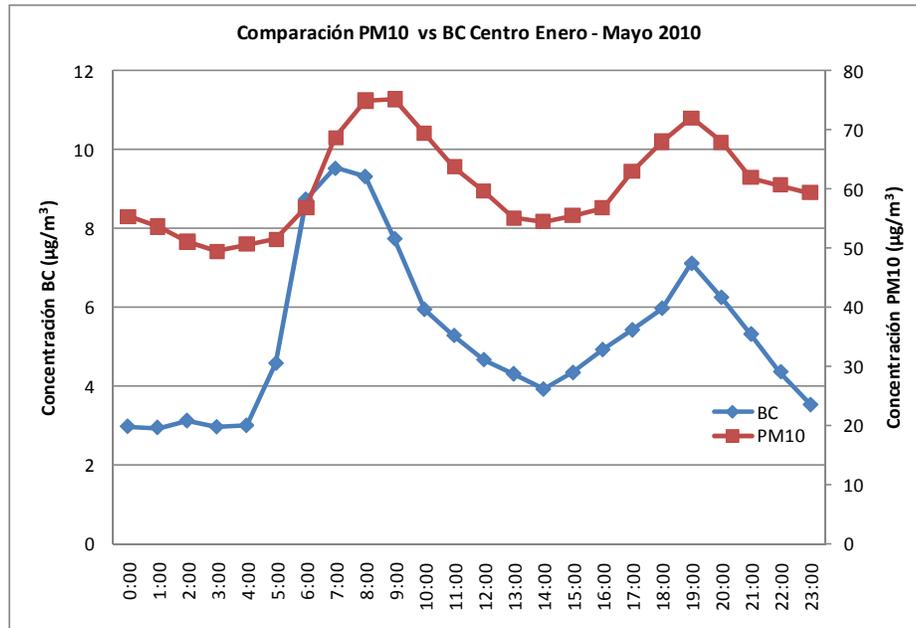


Figura 44. Comparación resultados promedios horarios BC y PM10 Centro

En la figura45 se comparan los resultados obtenidos para BC en el estudio con otros resultados obtenidos en Bucaramanga en el 2007. Como se mencionó anteriormente se tomó el BC equivalente al EC y la relación OC/EC de aproximadamente 4.5 para Bucaramanga (basado en el estudio 2007).

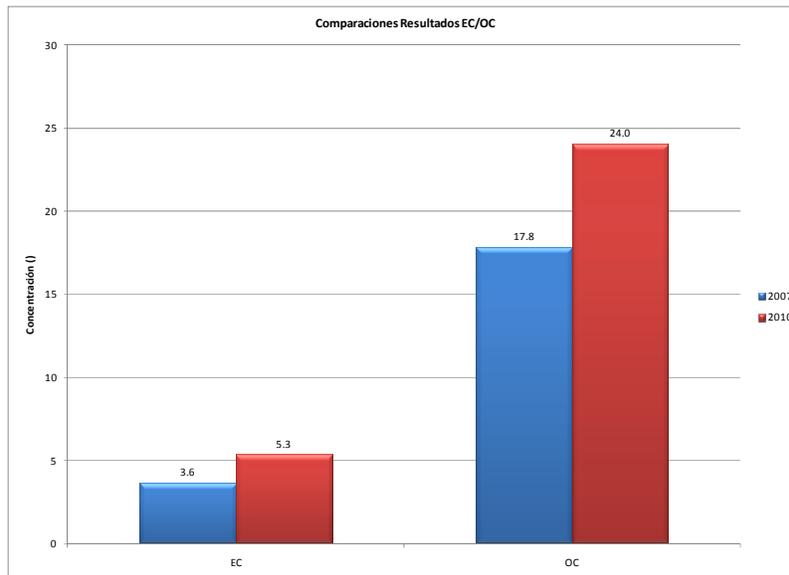


Figura 45. Comparación de Resultados EC/OC

PROPORCIONES DE PM₁₀AMB

Si consideramos que el comportamiento de todas las especies analizadas es similar en toda el Área Metropolitana de Bucaramanga, al promediar todos resultados obtenidos, la composición mostrada en la figura 46 sería la típica del PM₁₀ en el AMB.

Proporciones Promedio Especies PM10 AMB

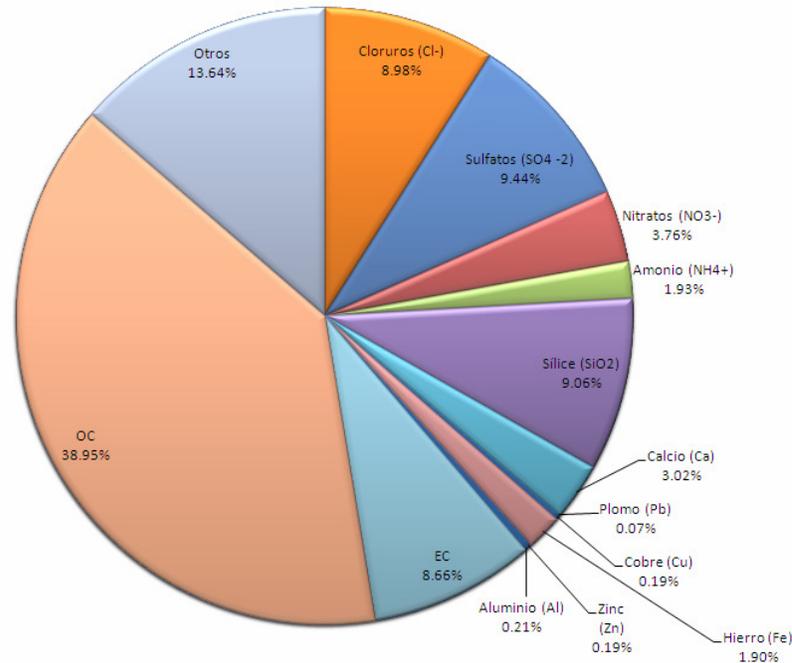


Figura 46. Proporciones promedio Especies AMB

Como era de esperar los PAHs debido a sus muy bajas concentraciones no presentan un aporte apreciable (todos los PAHs aportan el 0.00028%), no obstante, son importantes para establecer el probable origen de otros compuestos.

De igual manera el Plomo (Pb) representa aproximadamente un 0.1% y el Cobre (Cu), el Zinc (Zn) y el Aluminio (Al) representan un 0.2%. En términos porcentuales los metales en mención solo representan un 0.7% en las muestras analizadas de PM₁₀, por lo tanto se puede considerar su aporte bajo en la concentración final.

4.2.3. Resultados modelos de receptor-fuente

DESCRIPCIONES GENERALES DE LOS MODELOS¹⁴

Los modelos de receptor-fuente comprenden técnicas de diversos tipos que se utilizan para determinar la identidad de las fuentes de emisión que contribuyen a las concentraciones de determinados contaminantes en lugares específicos. Estas técnicas incluyen métodos microscópicos, físicos y químicos.

Los modelos de tipo químico se basan en la identificación de los denominados perfiles de fuente de emisión y su relación con las concentraciones halladas en un punto determinado. En este caso se supone que las concentraciones de las sustancias químicas que componen al material particulado se encuentran asociadas con las fuentes generadoras del mismo.

Los principales modelos receptores fuentes usados en la actualidad son EPA-CMB (Balance Químico de Masas), EPA-PMF (Factor de Matriz Positiva) y EPA-UNMIX, adicionalmente se utilizan las siguientes metodologías: Análisis de Componentes Principales (PCA), Análisis de Variables Múltiples, Método de Función Ortogonal Empírica y Modelos Estadísticos Híbridos basados en CMB.

MODELOS USADOS EN EL ESTUDIO

PMF¹⁵

La Factorización de Matriz Positiva (Positive matrixfactorization – PMF) es una herramienta de análisis de factores multivariantes que descompone una matriz de datos de muestras de especies en dos matrices: factores de contribuciones y factores de perfiles.

Un conjunto de datos de especies puede ser visto con una matriz X de i por j dimensiones, en la cual i es el número de muestras y j las especies químicas que fueron medidas. El objetivo de la modelación de receptores multivariable (PMF por ejemplo), es identificar un número de factores p , el perfil de especies f de cada fuente, y la cantidad de masa g aportada por cada factor a cada muestra individual (ver ecuación siguiente):

¹⁴ Adaptado de: Definición de elementos técnicos para la formulación de políticas distritales encaminadas al mejoramiento de la calidad del aire en Bogotá. Parte C- Caracterización de material particulado y modelos receptores. Behrentz et al, Universidad de los Andes, 2008, Pág. 2-8.

¹⁵ Adaptado de EPA Positive MatrixFactorization (PMF) 3.0 Fundamentals & User Guide. U.S. Environmental Protection Agency, 2008, Pág. 1.

$$X_{ij} = \sum_{k=1}^p g_{ik} f_{kj} + e_{ij}$$

Donde e_{ij} es el residual para cada muestra/especie.

Ya que en la factorización de matrices positivas pueden obtenerse soluciones negativas (válidas como solución matemática), en el modelo los resultados son limitados para que ninguna muestra tenga contribuciones negativas de una fuente, lo cual concuerda con la realidad del problema estudiado, es decir que en el peor de los casos una fuente no emite un contaminante en particular (emisión cero), pero nunca emite negativamente.

UNMIX¹⁶

Unmix busca resolver el problema general de combinaciones donde los datos se asumen como una combinación lineal de un número desconocido de fuentes de desconocida composición, las cuales contribuyen con una cantidad desconocida a cada muestra. Unmix también asume que las composiciones y contribuciones de las fuentes son todas positivas. Unmix asume que para cada fuente hay algunas muestras que contienen poco o ningún aporte de esa fuente. Usando datos de concentración para unas especies dadas, Unmix estima el número, composiciones y contribuciones de las fuentes a cada muestra.

Si los datos consisten de varias observaciones de M especies, entonces los datos pueden ser graficados en un espacio M -dimensional donde las coordenadas de un punto son las concentraciones obtenidas de las especies durante un periodo de muestreo. Si hay N fuentes, el espacio de los datos puede ser reducido a un espacio $N-1$ -dimensional. Se asume que para cada fuente hay algunos puntos donde la contribución de la fuente es nula o pequeña comparada con otras. Estos datos son llamados *EdgePoints*(puntos filo) y Unmix trabaja encontrando estos puntos y ajustándolos a un hiperplano que pasa por ellos; este hiperplano es llamado un *Edge*(filo) si $N=3$, el hiperplano es una línea. Por definición, cada *Edge* define los puntos donde una sola fuente no está contribuyendo. Si hay N fuentes, entonces la intersección de $N-1$ de estos hiperplanos define un punto donde solo una fuente está contribuyendo. Por lo tanto, este punto da la composición de la fuente. De esta manera la composición de las N fuentes es encontrada, y a partir de esta las contribuciones de las fuentes son calculadas hasta que se encuentre el mejor ajuste a los datos.

SUPOSICIONES DEL ESTUDIO

Las muestras con valores atípicos, como en el caso de los picos que se presentaron a final de año (posiblemente causados por el uso de pólvora en dichas fechas) se descartaron o eliminaron en cada uno de los modelos.

¹⁶Adaptado de EPAUnmix 6.0 Fundamentals & User Guide. U.S. Environmental Protection Agency, 2007, Pág. 1.

Las concentraciones de PAHs al ser despreciables no se tuvieron en cuenta en los modelos (se excluyeron de las corridas).

Las incertidumbres se obtuvieron de los laboratorios. Para PM_{10} se asumió una incertidumbre del 10% de cada resultado¹⁷.

Las muestras con valores iguales a cero o menores al Límite Detectable (LD) se reemplazaron por la mitad del valor del LD para cada especie, tal como lo recomienda la documentación de ambos modelos utilizados.

Los resultados obtenidos se ordenaron del tal manera que no crearán conflictos en los archivos de entrada de los modelos.

Las especies sin resultados para algunas fechas (solo EC y OC), se les asignó el valor de “-999” (missingvalue)¹⁸.

Tomando como base el estudio de modelos de receptor-fuente del 2007 en Bucaramanga, se tomaron como fuentes predominantes las siguientes: móviles, geológicas y fuentes fijas. Es decir se buscaron soluciones que arrojaran tres factores o fuentes (factors and sources).

RESULTADOS MODELO PMF

En la figura 47 se presenta los resultados obtenidos en PMF, teniendo en cuenta tres factores.

¹⁷ El $\pm 10\%$ es la exactitud requerida para muestreos de PM_{10} según: Appendix J To Part 50—Reference Method for the Determination Of Particulate Matter as PM_{10} in the Atmosphere. 40CFR50AppJ de la U.S. EPA.

¹⁸ Recomendación dada en los manuales de PMF y UNMIX, cuando no se tienen resultados de una especie en una fecha en particular.

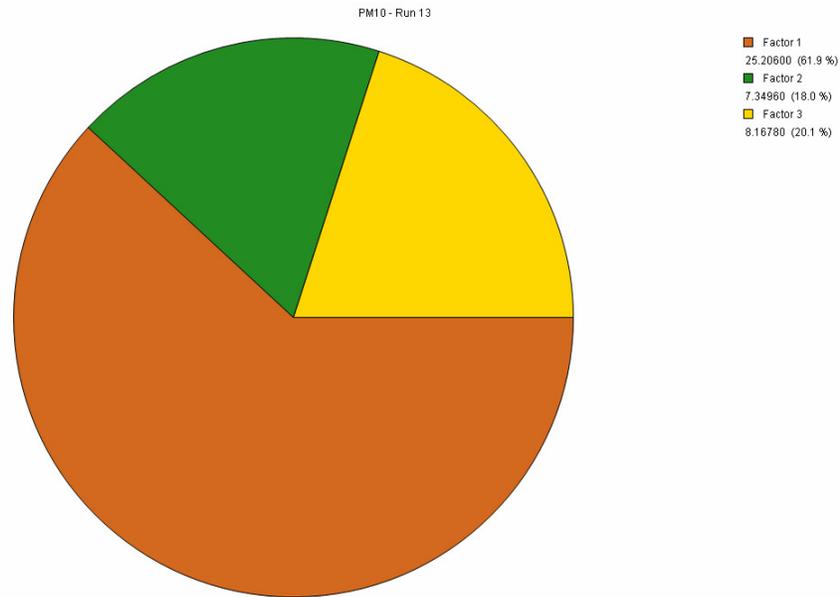


Figura 47. Factores para PM₁₀ modelo PMF

En la figura 48 se pueden observar que los residuales generados para dicha solución se encuentran entre -3 y + 3 desviaciones estándar¹⁹.

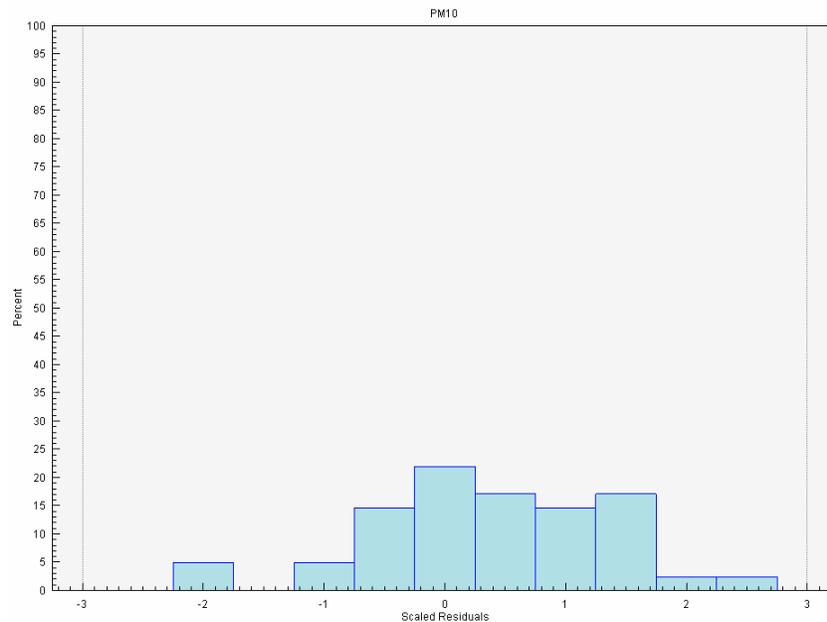


Figura 48. Residuales PM10 PMF

¹⁹ Si una especie se encuentra entre dichos límites (-3 y + 3 desviaciones) y presenta una distribución normal, la documentación de los modelos utilizados consideran que la especie se encuentra bien modelada y no se vio afectada por eventos extremos (ver pág. 14 Manual PMF y pág. 22 Manual UNMIX).

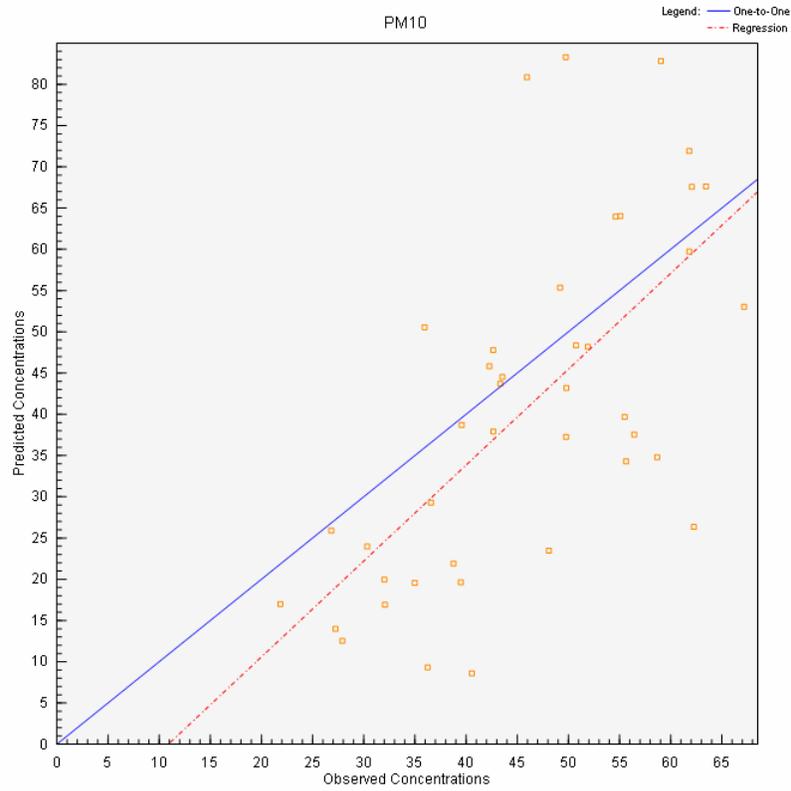


Figura 49. Correlación PM₁₀ PMF

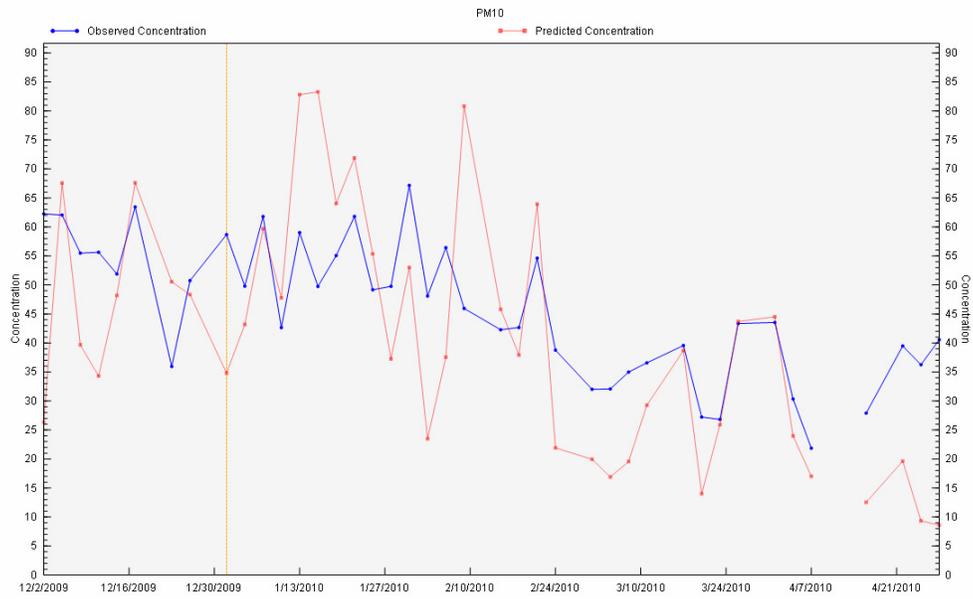


Figura 50. Comparación de la serie de tiempo PM₁₀ PMF

En las figuras anteriores se puede observar que el PM₁₀, es ajustado de manera aceptable. Aunque para la misma corrida como se puede observar en las figuras siguientes otras especies como el Cloruro tiene un buen ajuste.

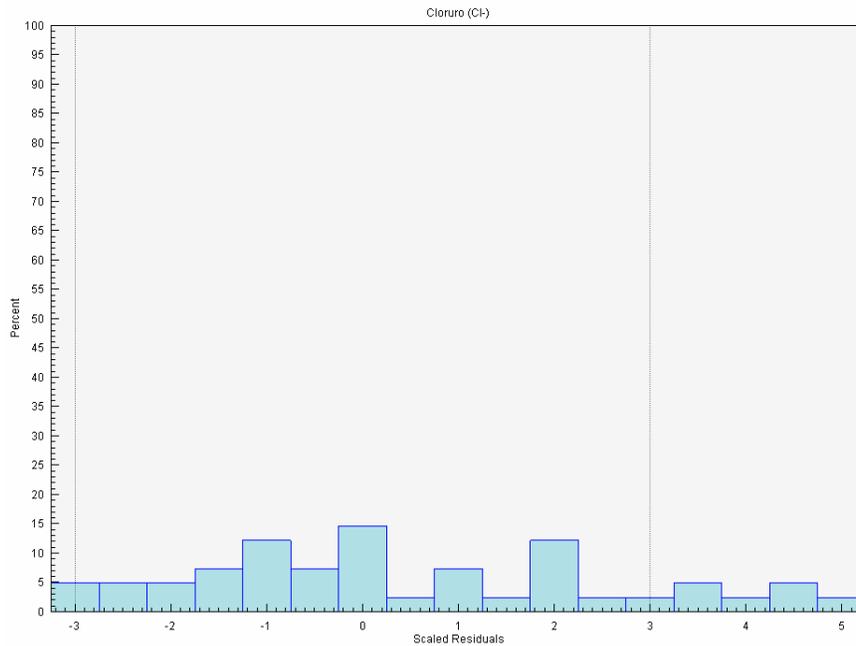


Figura 51. Residuales Cloruro PMF

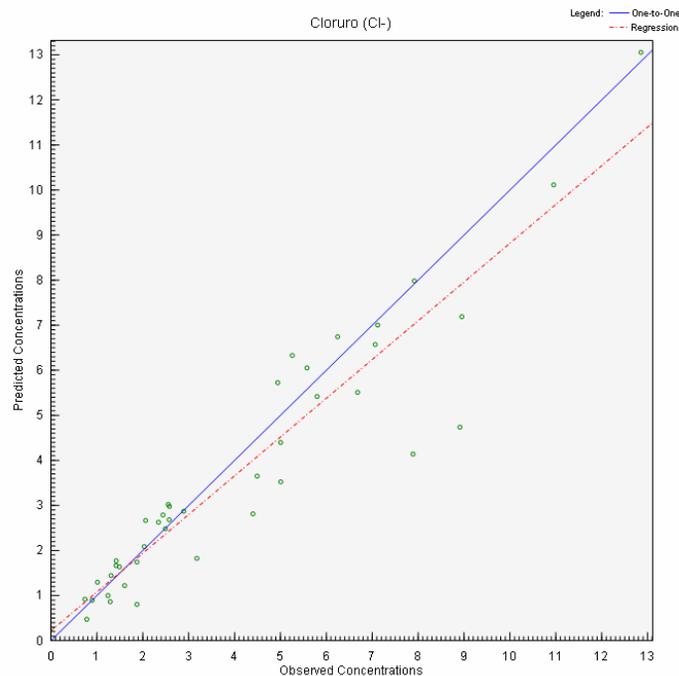


Figura 52. Correlación Cloruro PMF

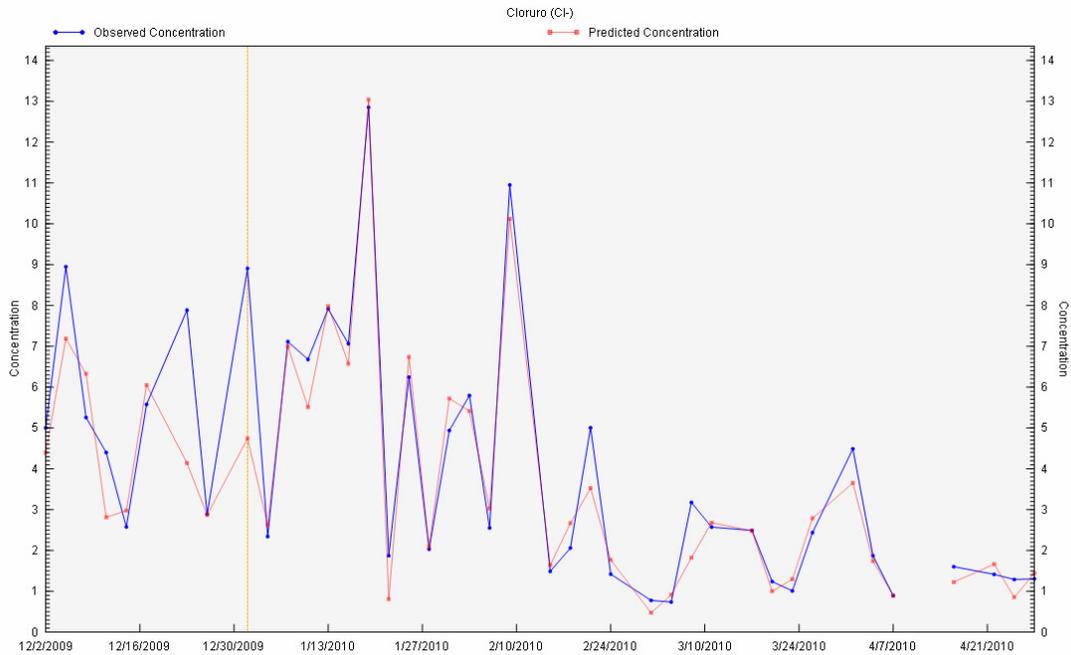


Figura 53. Comparación serie de tiempo Cloruro PMF

RESULTADOS MODELO UNMIX

En la figura54 se presenta los resultados obtenidos en UNMIX, buscando soluciones para tres fuentes.

Distribution of sources for PM10 in Run # 5

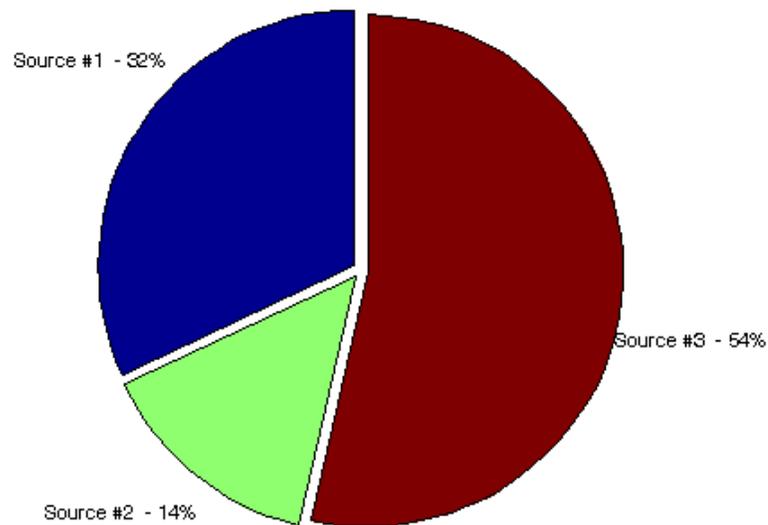


Figura 54. Fuentes PM10 UNMIX

En la figura55 se puede observar que UNMIX ajusta el PM₁₀ de manera aceptable.

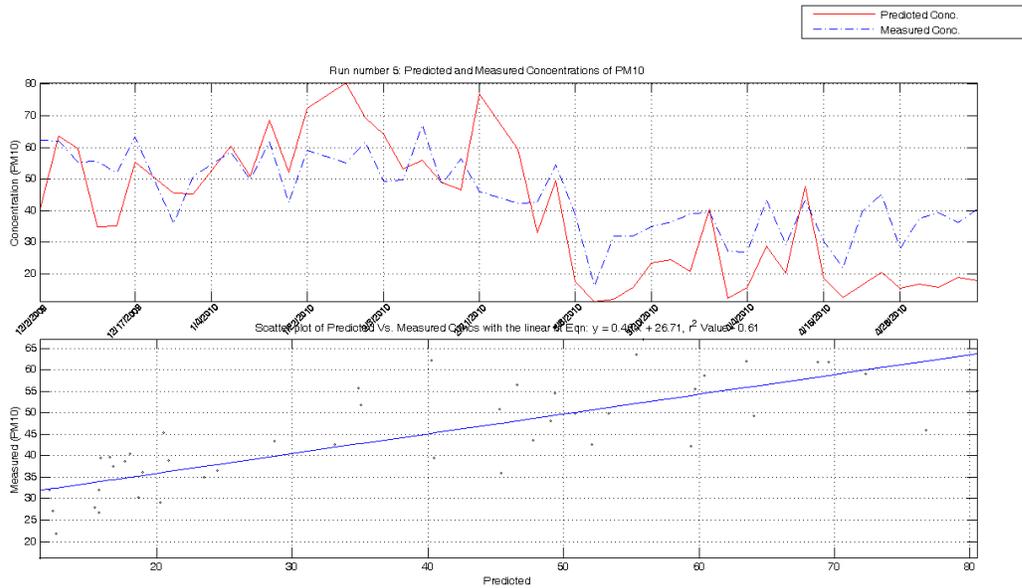


Figura 55. Correlación y comparación PM10 UNMIX

En la figura56 se puede observar que UNMIX ajusta algunas especies, como el amonio de manera casi perfecta (el valor modelado es prácticamente igual al medido).

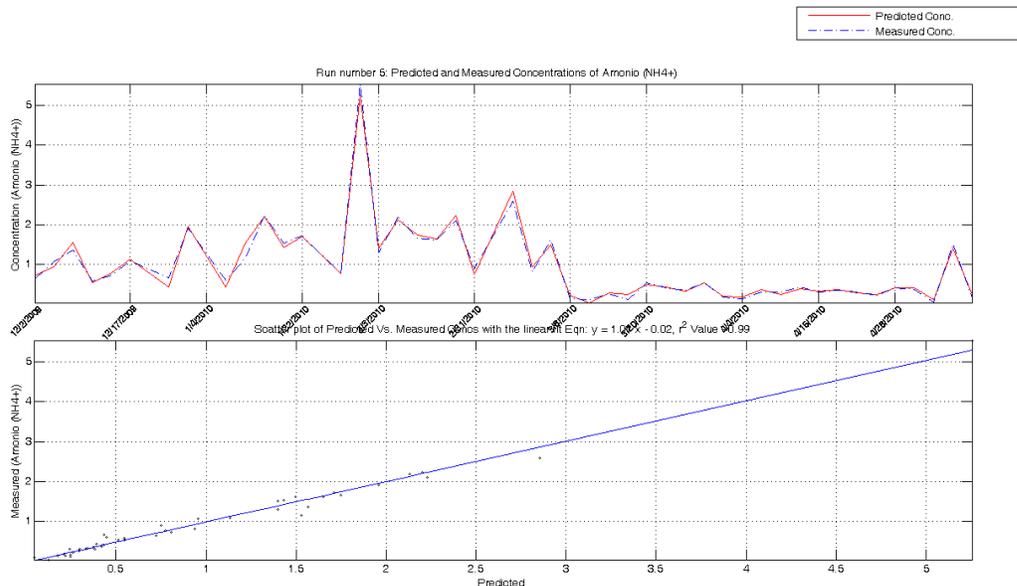


Figura 56. Correlación y comparación Amonio UNMIX

En la figura 57 se pueden observar los residuales para el PM10 y otras especies para la corrida anterior. Al igual que en el modelo anterior entre menos dispersión presente la sustancia y tiende a una distribución normal²⁰, mejor modelada se encuentra la sustancia.

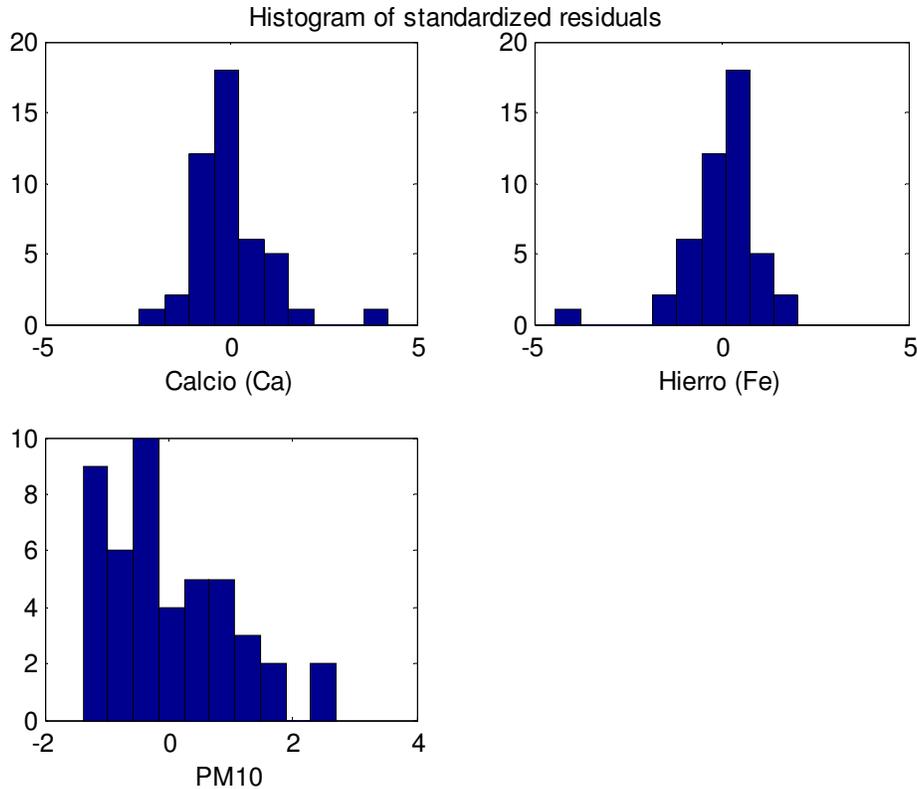


Figura 57. Residuales PM₁₀ y otras especies UNMIX

CONSOLIDADO MODELOS

Teniendo en cuenta los resultados de los modelos receptores (ver Anexo 4 con todos los resultados de los modelos), en tabla 19 se presentan las proporciones obtenidas para cada fuente establecida en el estudio. En la figura 58 se presentan y comparan los resultados de manera gráfica. Con “Otras” se designan todas las fuentes que no se ven representadas adecuadamente por los componentes típicos del transporte vehicular y los de origen geológicos.

²⁰ Si una especie se encuentra entre dichos límites (-3 y + 3 desviaciones) y presenta una distribución normal, la documentación de los modelos utilizados consideran que la especie se encuentra bien modelada y no se vio afectada por eventos extremos (ver pág. 14 Manual PMF y pág. 22 Manual UNMIX).

Tabla 19. Proporciones PMF y UNMIX

FUENTE	PMF	UNMIX
Transporte	62%	54%
Geológicas	20%	32%
Otras	18%	14%

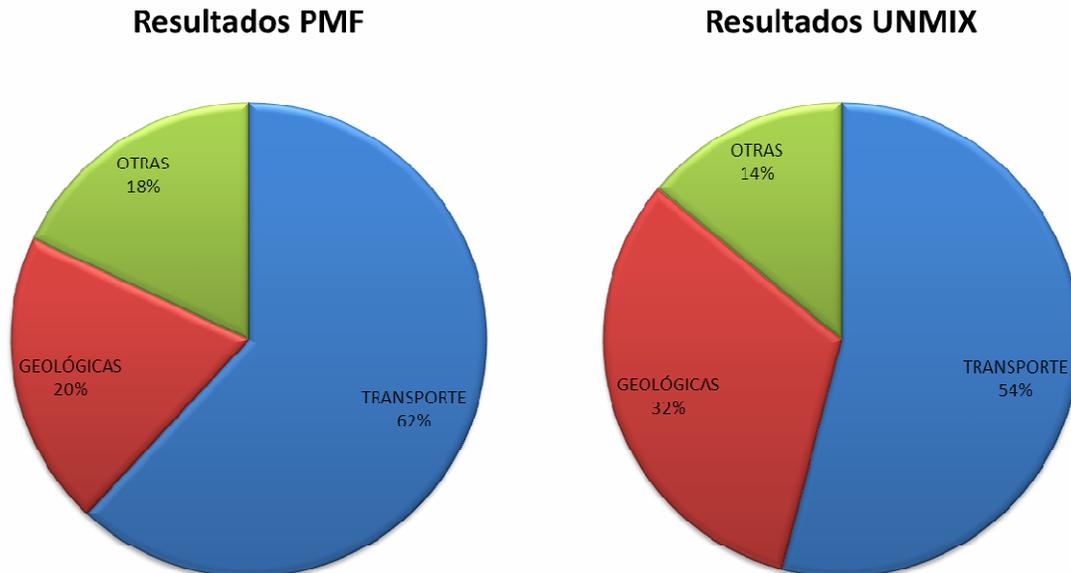


Figura 58. Comparaciones resultados PMF y UNMIX

Como puede observarse en la figura anterior, los resultados obtenidos con ambos modelos son similares y teniendo en cuenta la incertidumbre en los datos se pueden considerar estadísticamente equivalentes.

Los resultados anteriores concuerdan con lo que esperado en el Área Metropolitana de Bucaramanga y los inventarios de emisiones realizados por la CDMB el estudio marco.

4.3. ANALISIS DE LA RELACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN EXTERIORES E INTERIORES Y LA EXPOSICIÓN PERSONAL

A continuación se muestran los resultados obtenidos de la concentración de material particulado inferior a 10 micras (PM₁₀) para cada sitio de monitoreo:

4.3.1. Zona alta

a) **Centro:** Zona comercial, con alto tráfico vehicular especialmente buses urbanos, equivalente al 32% de la totalidad de fuentes móviles que circulan por esta zona. Hasta finales del mes de febrero de 2010, transitaban por la carrera 15 buses de servicio público, afiliados a diferentes empresas y a partir de marzo inicia la operación del sistema Integrado de Transporte Masivo para la ciudad de Bucaramanga denominado "Metrolinea" y las demás rutas de buses se desviaron a vías alternas como las carreras 9, 13, 14, y 17. Para el seguimiento y monitoreo de la calidad del aire se ubican en la zona una estación de monitoreo automática y dos estaciones manuales:

Tipo de Monitoreo	Dirección	Equipo(s) instalado(s)
Exterior	Carrera 15 con Calle 34. Estación Centro	BAM1020. Estación automática
Exterior	Carrera 16 con Calle 36. Edificio Turbay	Omni A28114
Interior	Carrera 16 con Calle 36. Almacén Tekno Hogar	Microvol A29822

Tabla 20. Ubicación de equipos en el centro de Bucaramanga



Estación Automática CENTRO:
Esquina de la Carrera 15 con Calle 34



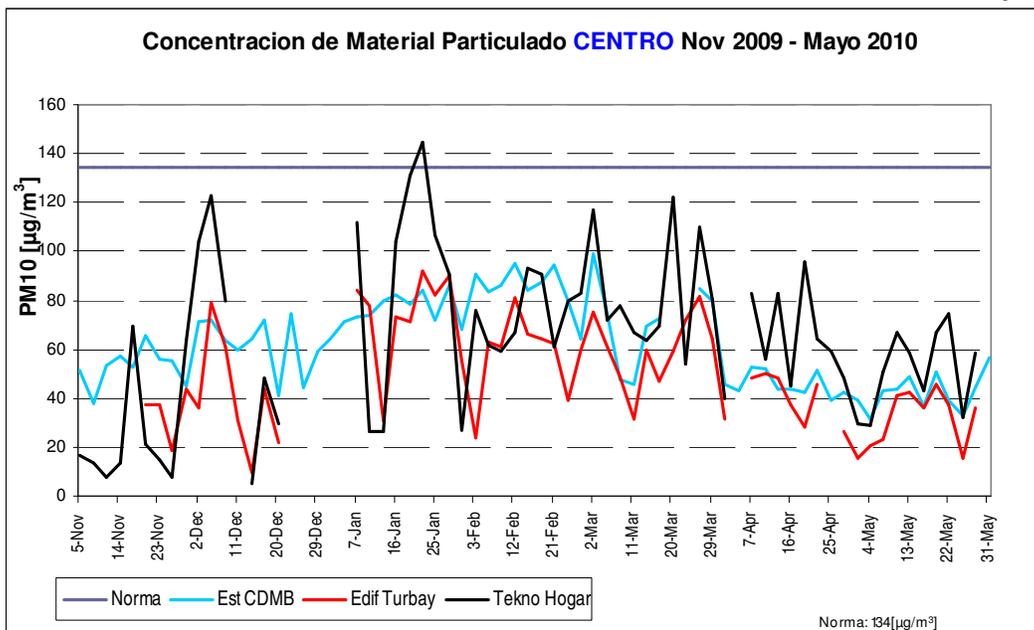
Equipo Manual: Edificio Turbay
Esquina de la Carrera 16 con Calle 36

Equipo Manual: Interior del Almacén Tekno Hogar
Esquina de la Carrera 16 con Calle 36



La figura 59 permite observar el comportamiento de la concentración de la fracción respirable del material particulado inferior a 10 micras (PM_{10}), entre los meses de noviembre de 2009 y mayo de 2010, para los tres sitios estratégicos seleccionados por los profesionales de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB):

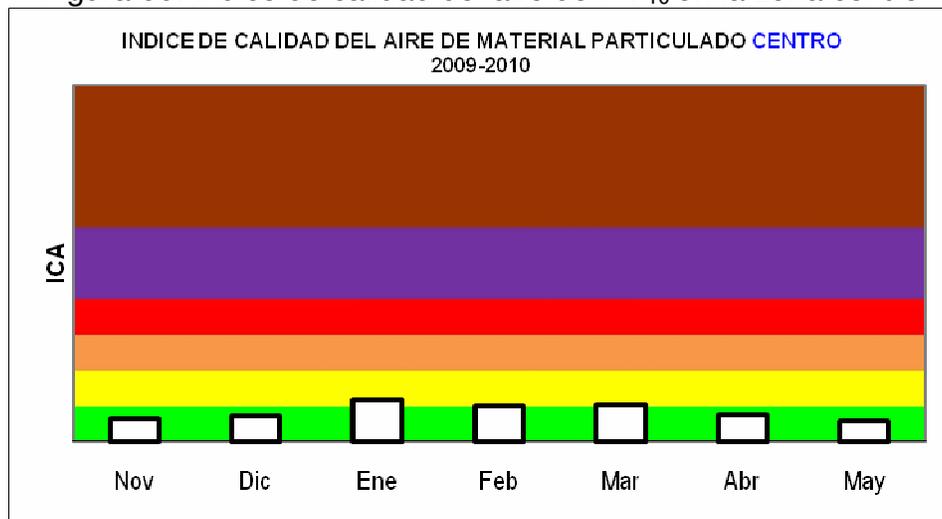
Figura 59. Concentración de PM_{10} en el barrio Centro, Noviembre 2009-Mayo 2010



Según la gráfica, la concentración de contaminación al interior del Almacén Tekno Hogar (línea de color negro) es mayor en comparación con los datos obtenidos de PM_{10} en la parte exterior de la zona Centro de Bucaramanga, indicando un mayor riesgo para la salud de las personas que laboran al interior de este establecimiento comercial. Sin embargo la gráfica también permite observar que solamente en una ocasión se ha superado la Norma diaria de Calidad del Aire para este contaminante durante los siete (7) meses de monitoreo continuo, obteniendo los valores de concentración más altos entre los meses de enero y marzo, época de máximo verano en el municipio de Bucaramanga, con un valor máximo de 144 microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) registrado el 22 de enero en el interior del almacén Tekno Hogar. Posteriormente con la llegada de las lluvias, a comienzos del mes de abril, se disminuyó la concentración de PM_{10} en los tres sitios continuando con la misma tendencia de la época seca, en donde al interior del almacén Tekno Hogar se registraban las mayores concentraciones de PM_{10} , debido posiblemente a la deficiente ventilación que posee el almacén.

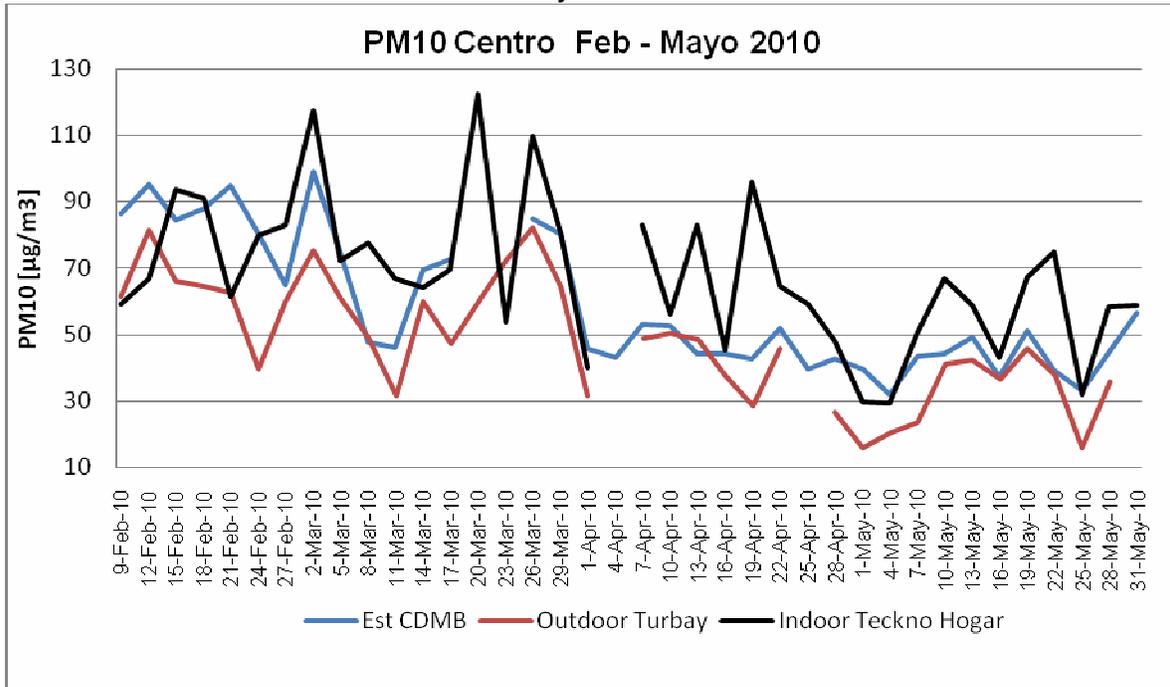
En términos del Índice de Calidad del Aire, la zona centro se clasifica principalmente como "buena" (franja de color verde) indicando que no existe un riesgo significativo sobre la población que se encuentra en esta zona. La siguiente gráfica permite observar este comportamiento mes a mes:

Figura 60. Índice de calidad del aire de PM_{10} en la zona centro



Finalmente y teniendo en cuenta que a partir del 9 de febrero de 2010 se comenzó a utilizar solamente los filtros de Teflon, se puede observar en la parte final de la gráfica un comportamiento regular de la contaminación atmosférica por PM_{10} . Para mayor claridad la siguiente gráfica muestra únicamente los datos entre febrero 9 y mayo 31 de 2010:

Figura 61. Concentración interior y exterior de PM₁₀ en el barrio Centro, Noviembre 2009- Mayo 2010



Con esta grafica se evidencia el comportamiento de las concentraciones de PM₁₀ en el tiempo, encontrando que en un ambiente INDOOR con las características del centro de Bucaramanga registra mayores valores en comparación con los obtenidos al exterior de la zona de estudio, probablemente por la deficiente ventilación de la mayoría de inmuebles “antiguos” característicos de esta zona.

b) San Miguel: Zona de alto flujo vehicular.

Tipo de Monitoreo	Dirección	Equipo(s) instalado(s)
Exterior + Interior	DTB: Carrera 17 con Diagonal 15	Hivol 2236 DATARAM A31409

Tabla 21. Ubicación de equipos en el barrio San Miguel de Bucaramanga



Equipo Manual DTB: Diagonal 15 con Carrera 17



Equipo Manual: Interior de las oficinas de la DTB. Diagonal 15 con Carrera 17

no. 107 de 2008

1107 IV.CO

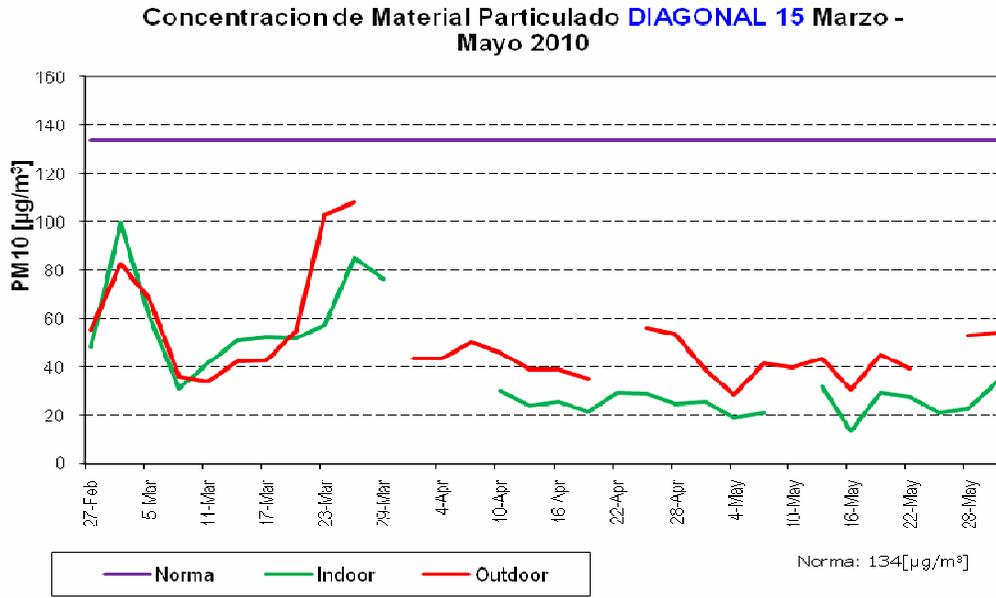


Figura 62. Concentración de interior y exterior de PM₁₀ Diagonal 15, Noviembre 2009-Mayo 2010

En la grafica se puede observar el incremento en la concentración de PM₁₀ en el mes de marzo debido al fuerte verano que se registró en el Área Metropolitana de Bucaramanga. El valor máximo fue de 104.14 µg/m³ medido el 23 de marzo de 2010. Posteriormente, a partir de abril, se registró un decremento en la concentración debido a la presencia de lluvias, las cuales han sido más intensas en el mes de mayo.

Como se observa en la anterior grafica, el comportamiento de las concentraciones de PM₁₀ en el tiempo fuera de una instalación, de tipo ambiental (outdoor) es similar a las medidas al interior de una edificación (indoor); es decir, cuando la concentración de partículas disminuye o aumenta al exterior lo mismo sucede al interior, lo cual indica que es muy probable que exista una relación directa entre estos dos comportamientos.

2.2. Zona Media

c) Molinos Altos: Zona residencial, con promedio de flujo vehicular entre 500 y 650 vehículos por hora entre semana. Sin embargo debido a la construcción de la infraestructura para Metrolinea, se desviaron temporalmente las rutas de buses por esta zona incrementando la contaminación.

Tipo de Monitoreo	Dirección	Equipo(s) instalado(s)
Exterior	Cañaveral. Edificio Telebucaramanga	Thermo Fisher. Estación automática
Exterior + Interior	Calle 26 No 27-35 Molinos Altos	Microvol A29823 DATARAM A31411

Tabla 22. Ubicación de equipos en los barrios Cañaveral y Molinos Altos de Floridablanca



Estación Automática Cañaveral:
Edificio Telebucaramanga sede sur



Equipo Manual: Vivienda Molinos
Calle 26 No 27 - 35



La siguiente grafica permite observar el comportamiento de la concentracion de material particulado inferior a 10 micras (PM_{10}), para los dos sitios seleccionados por la Corporacion Autonoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB):

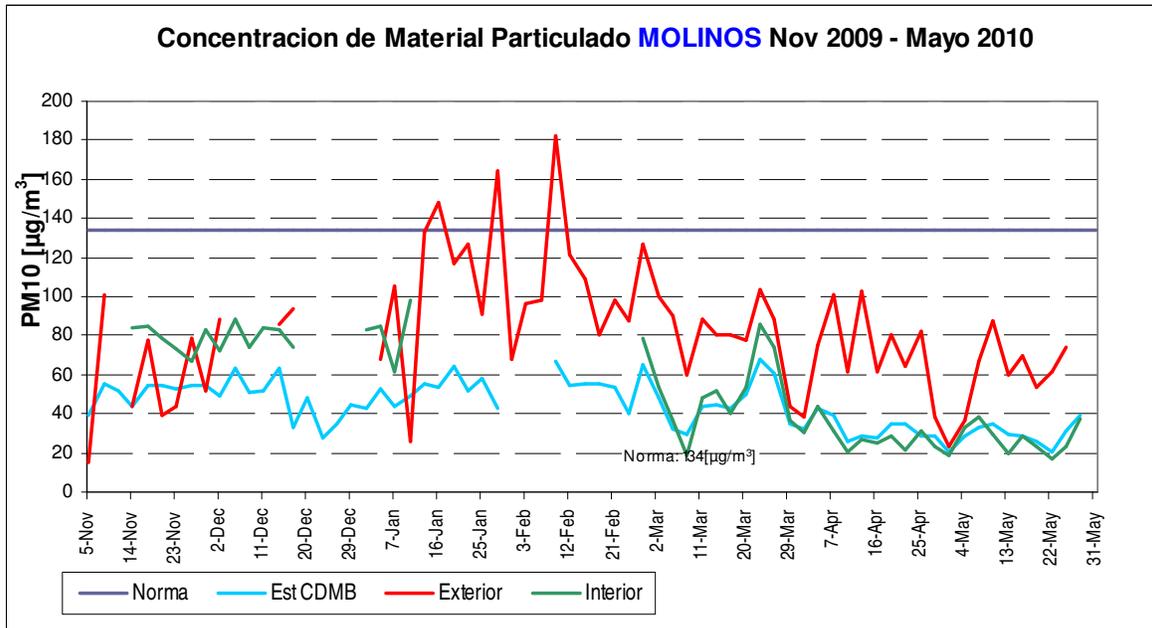


Figura 63. Concentración de interior y exterior de PM_{10} barrio Molinos, Noviembre 2009-Mayo 2010

De acuerdo al comportamiento observado en la grafica, los valores de concentración de PM_{10} medida en el exterior de la vivienda del barrio Molinos Altos (linea de color rojo) son mayores a los obtenidos en la estacion de Cañaveral de propiedad de la CDMB y de los datos registrados al interior de la misma vivienda, indicando un mayor riesgo para la salud de las personas que habitan o laboran en esta zona del barrio Molinos. Esta situacion es causada principalmente por el desvio de rutas de buses urbanos que transitan por la carrera 26 y que desean dirigirse hacia el municipio de Bucaramanga y por el desarrollo de las obras civiles para la construccion de la infraestructura del sistema Integrado de transporte masivo, especialmente entre los meses de noviembre de 2009 y febrero de 2010.

Tambien se puede observar de la grafica que en tres ocasiones se ha superado la Norma diaria de Calidad del Aire para este contaminante durante los siete (7) meses de monitoreo continuo; los dias en los cuales se ha superado la Norma fueron el 19 de enero, 31 de Enero y el 12 de febrero de 2010 obteniendo un valor maximo de 182 microgramos por metro cubico ($\mu g/m^3$) para este ultimo dia en la parte exterior de la vivienda del barrio Molinos altos. Entre los meses de enero y marzo se presentaron las mas altas concentraciones de particulas en el aire que respira la poblacion de esta zona, debido al fuerte verano y por lo tanto a la presencia de pocas lluvias en estos meses del año

Lo anterior se puede demostrar con la siguiente grafica del Indice de Calidad del Aire, en donde se obtuvo la clasificacion de "calidad del aire moderada" (franja de color amarillo) en los meses de enero, febrero y marzo indicando el posible agravamiento de enfermedad del corazon o de pulmon en personas con enfermedades cardiopulmonares y adultos mayores.

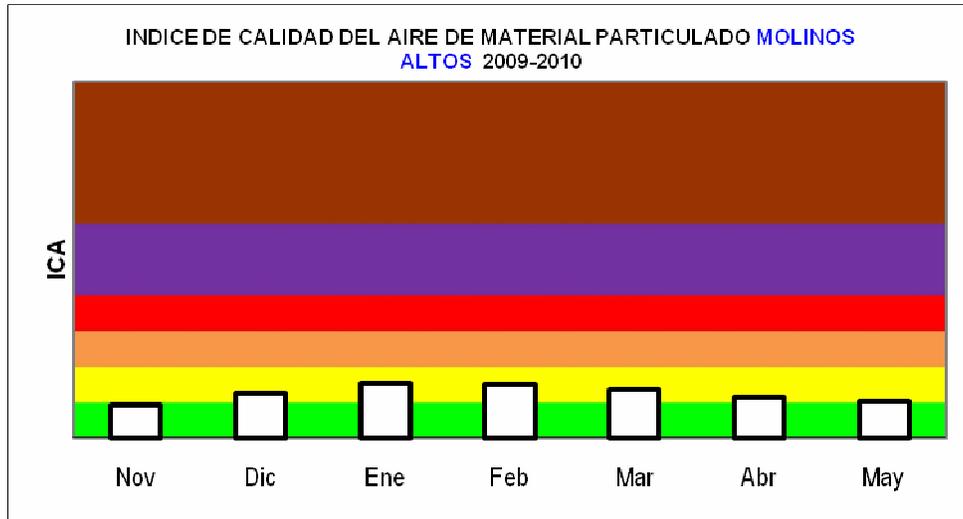


Figura 64. Índice de calidad del aire de PM₁₀ en barrio Molinos

La siguiente gráfica, correspondiente a los últimos 4 meses de monitoreo (a partir del 27 de febrero cuando se empezaron a utilizar los filtros de PTFE), permite observar mejor la relación entre la contaminación atmosférica por PM₁₀ al interior y exterior de la vivienda:

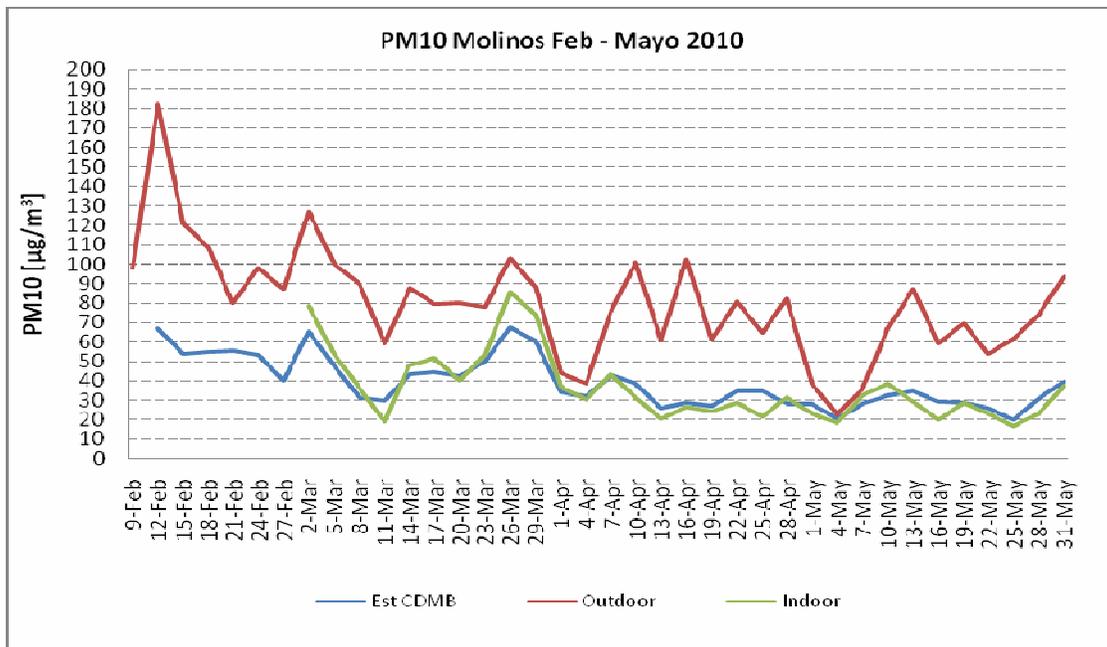


Figura 65. Concentración interior y exterior de PM₁₀ en el barrio Molinos, 2010

d) Ciudadela Real de Minas y Ricaurte: Zona Occidental del municipio de Bucaramanga, principalmente residencial con presencia de tráfico vehicular promedio entre 150 y 300 vehículos por hora, especialmente en las calles 56 y 61. En esta zona la CDMB posee una estación de monitoreo automática en la Calle de los Estudiantes, donde se ubican varios colegios de bachillerato y una institución de educación superior y una estación manual en una vivienda del barrio Ricaurte:

Tipo de Monitoreo	Dirección	Equipo(s) instalado(s)
Exterior	Ciudadela Real de Minas. Colegio Aurelio M. Mutis	Bam1020. Estación automática
Exterior	Carrera 17C No 58-86 Vivienda Ricaurte	Hivol

Tabla 23. Ubicación de equipos en los barrios Real de Minas y Ricaurte de Bucaramanga



Equipo Manual Ricaurte:
Cra 17C # 58-86



Estación Automática: Ciudadela
Calle de los Estudiantes

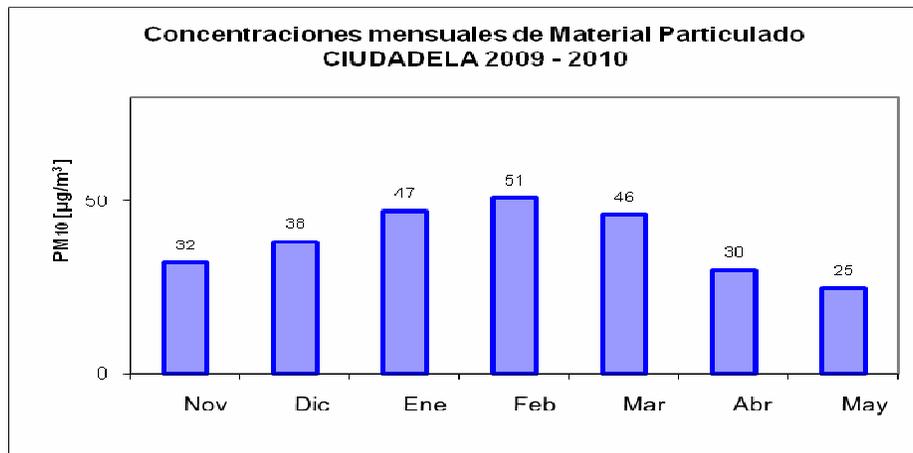


Figura 66. Concentración mensual de PM₁₀ barrio Ciudadela, Noviembre 2009-Mayo 2010

La siguiente gráfica permite observar el comportamiento mensual de PM₁₀ entre noviembre de 2009 y mayo de 2010 en el área de influencia de la estación automática Ciudadela. Como ha sido la constante con los demás sitios de monitoreo, en los meses de enero, febrero y marzo de 2010 se registró la máxima concentración en el aire de partículas, aunque para esta zona no representa una afectación significativa en la salud de la población.

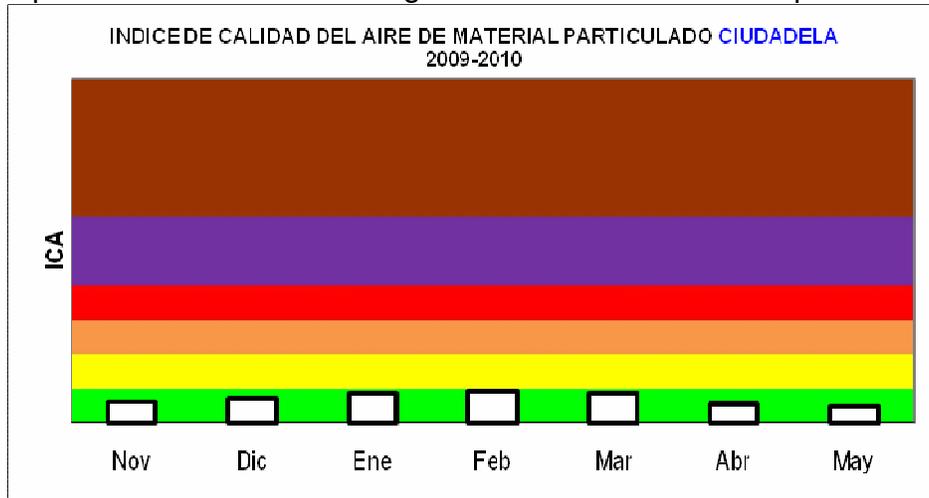


Figura 67. Índice de calidad del aire de PM₁₀ en zona Ciudadela Real de Minas

Con respecto a la información obtenida del monitoreo realizado en el barrio Ricaurte, se presenta la siguiente gráfica que incluye datos desde el 5 de noviembre de 2009 y hasta el 21 de febrero de 2010, cuando la CDMB decide trasladar el equipo a la estación automática de Cañaveral y utilizarlo en la fase de monitoreo de caracterización físico-química de material particulado.

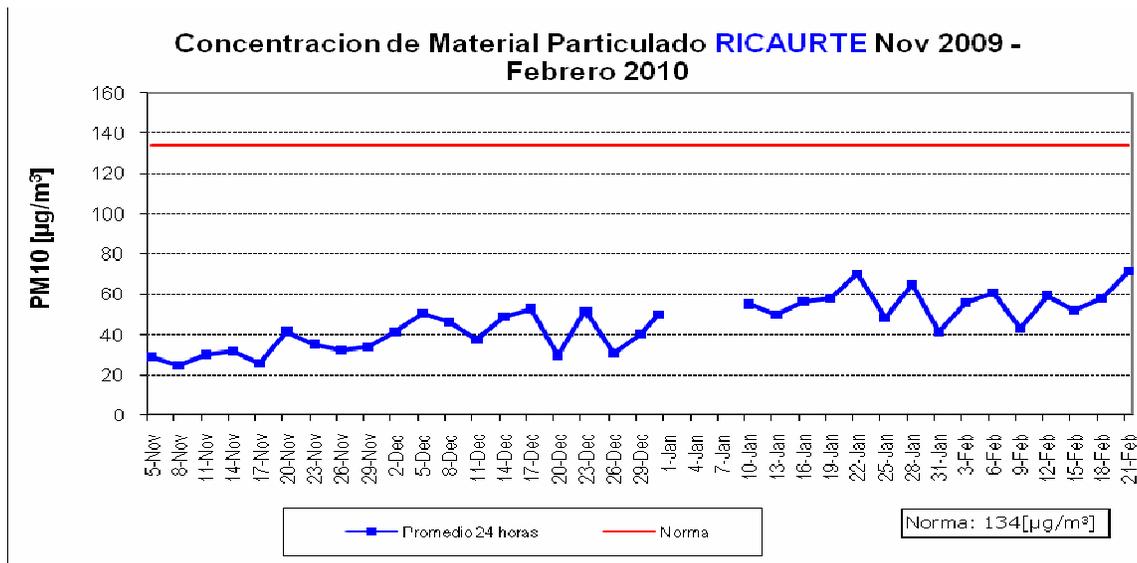


Figura 68. Concentración PM₁₀ barrio Ricaurte, Noviembre 2009-Mayo 2010

e) Cabecera del Llano: Zona Oriental del municipio de Bucaramanga, principalmente residencial con un promedio de flujo vehicular entre 190 y 250 vehículos por hora, en el sentido norte – sur, que es el que presenta mayor flujo. La fuente móvil de mayor circulación y contaminación son los autos particulares que constituyen el 43% del flujo vehicular total, seguidos de los taxis (24%); los buses urbanos tienen una participación baja con el 5% del flujo vehicular total. En esta zona se instaló una estación de monitoreo automática y una estación manual como se muestra a continuación:

Tipo de Monitoreo	Dirección	Equipo(s) instalado(s)
Exterior	Parque San Pio. Carrera 36 con Calle 45	Bam1020. Estación automática
Exterior	Carrera 39 No 44-209 Conjunto Residencial Casa Hacienda	Omni A28117

Tabla 24. Ubicación de equipos en el barrio Cabecera del Llano de Bucaramanga

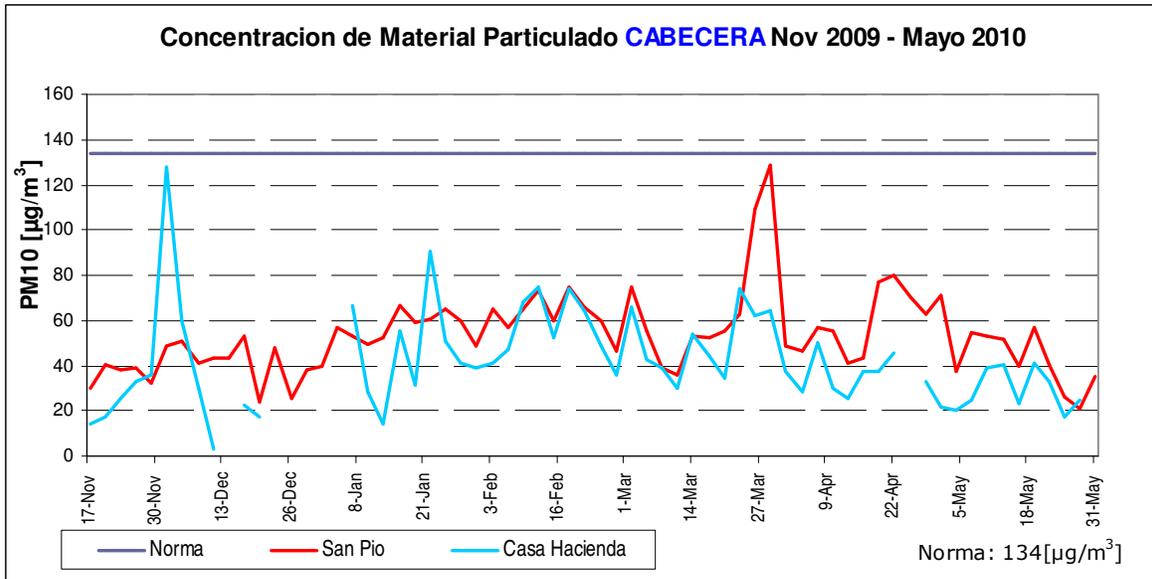


Estación Automática Cabecera:
Parque San Pio



Equipo Manual: Casa Hacienda
Carrera 39 No 44 - 209

La siguiente gráfica permite observar el comportamiento de la concentración de material particulado (PM_{10}), para los dos sitios seleccionados en la zona:



Según se observa en la grafica, la concentración de PM₁₀ en el exterior del conjunto residencial Casa Hacienda (linea de color azul) es menor que la encontrado en el parque San Pio y sus alrededores, indicando un menor riesgo para la salud de las personas que habitan o laboran en la parte alta de Cabecera del Llano. Esta situación es causada principalmente por el gran número de vehículos de toda clase, especialmente autos de servicio particular (43%) a horas “pico”, que transitan por las carreras 33, 35A y 36 entre otras, disminuyendo su velocidad promedio y por lo tanto afectando significativamente la calidad del aire en la zona.

También se puede observar en la gráfica que en ninguna ocasión se ha superado la Norma diaria de Calidad del Aire para este contaminante durante los siete (7) meses de monitoreo continuo; el día de mayor concentración de material particulado se registró el 29 de marzo de 2010 con un valor de 128.52 microgramos por metro cubico (µg/m³) debido principalmente al desarrollo de obras civiles necesarias para el cambio de las redes de servicio domiciliario. Entre los meses de enero y marzo se presentaron las más altas concentraciones de partículas en el aire que respira la población de esta zona, debido al fuerte verano y por lo tanto a la presencia de pocas lluvias en estos meses del año

Lo anterior se puede demostrar observando la variación en el tiempo del Índice de Calidad del Aire, por medio del cual se puede determinar que la calidad del aire se califica como “moderada” (franja de color amarilla) para el mes de febrero indicando que la población que ya posea enfermedades cardiopulmonares y adultos mayores podrían ser afectados en su salud en caso de realizar actividades físicas que demanden un esfuerzo significativo. La siguiente grafica permite observar este comportamiento mes a mes.

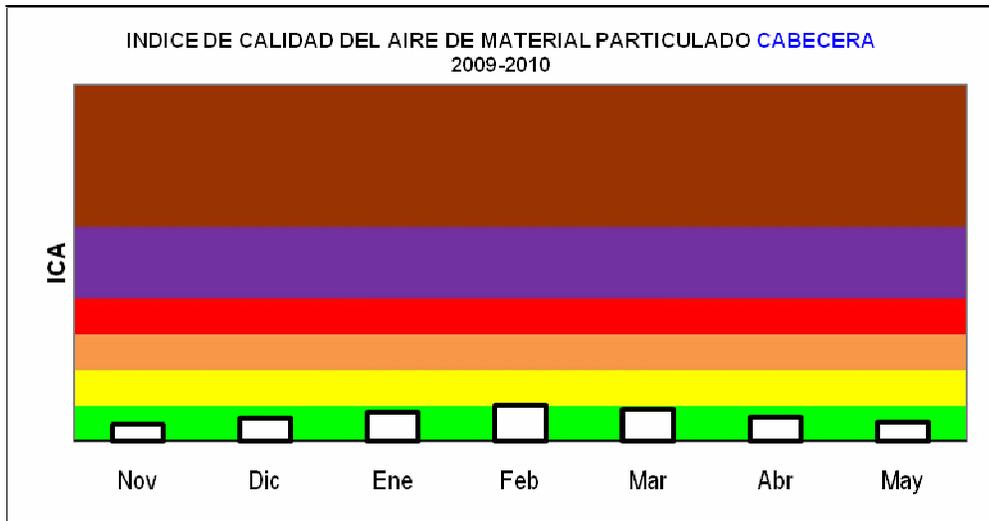


Figura 70. Índice de calidad del aire de PM₁₀ en barrio Cabecera

Los dos valores máximos de la estación automática San Pio (línea de color rojo) obtenidos los días 26 y 29 de marzo de 2010, con 108.96 y 128.52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, fueron causados por las obras temporales de reemplazo de tubería que adelantaba la empresa de acueducto de Bucaramanga en la esquina de la carrera 36 con calle 46. La siguiente gráfica muestra el comportamiento de las concentraciones de PM₁₀ en las 2 estaciones, desde el momento en que se inició el uso de filtros de TFE para el muestreo y eliminando los dos datos mencionados anteriormente:

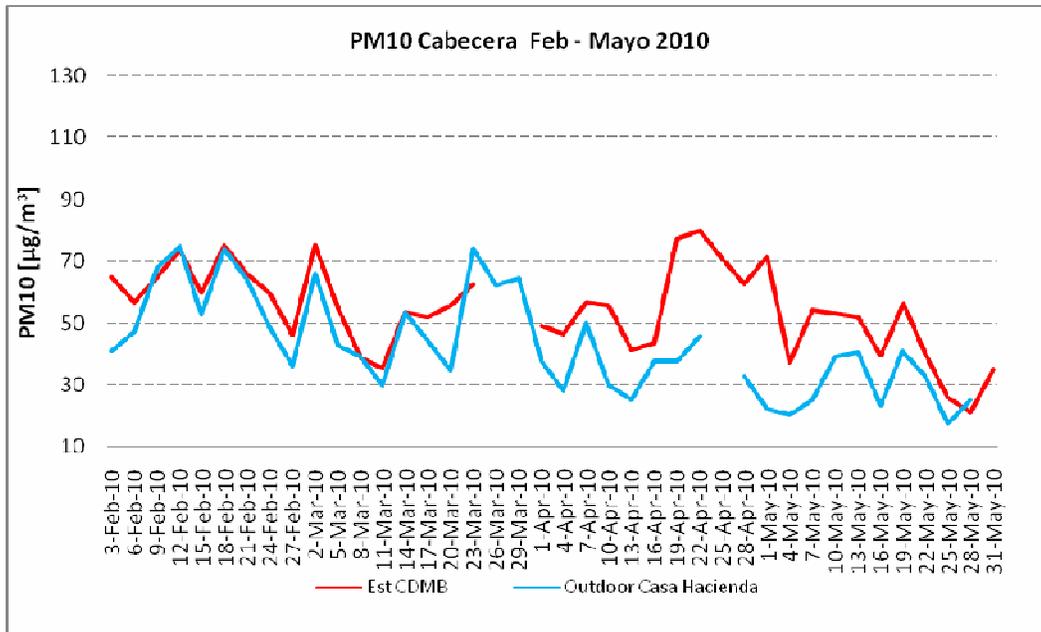


Figura 71. Concentración PM₁₀ barrio Cabecera, Noviembre 2009-Mayo 2010

Teniendo en cuenta que la línea azul representa la contaminación atmosférica por PM_{10} en la parte alta del barrio Cabecera del Llano y la línea roja el comportamiento de PM_{10} en los alrededores de la carrera 33 (vía importante de Bucaramanga que atraviesa la ciudad de norte a sur), se puede evidenciar que la calidad del aire está más afectada en la parte baja del barrio debido principalmente a la mayor circulación de fuentes móviles en esta zona.

2.3. Zona Baja

f) La Joya: Zona ubicada en la escarpa occidental del municipio de Bucaramanga, catalogada como residencial, con un promedio de flujo vehicular entre 90 y 100 vehículos por hora entre semana y sábados y un menor flujo los días domingos. La fuente móvil de mayor circulación y contaminación son las motos que constituyen el 40% del flujo vehicular total. Para el monitoreo de la calidad del aire, se seleccionó una vivienda en la carrera 11 occidente con calle 36, en donde se instalaron dos equipos manuales, uno al interior y otro al exterior de la vivienda.

Tipo de Monitoreo	Dirección	Equipo(s) instalado(s)
Exterior + Interior	La Joya: Carrera 11 occ 36-04	Hivol 2235 DATARAM A31410

Tabla 25. Ubicación de equipos en el barrio La Joya de Bucaramanga



Equipo Manual La Joya:
Carrera 11 Occ # 36-04



Equipo Manual: Interior de la
vivienda de la Joya.

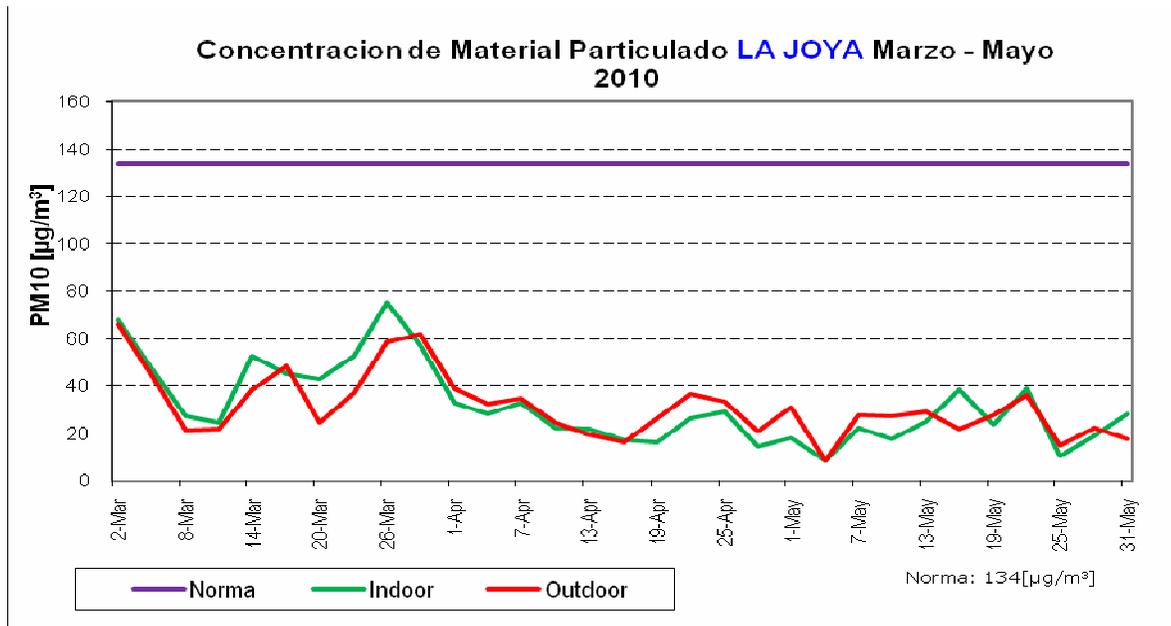


Figura 72. Concentración de interior y exterior de PM₁₀ barrio La Joya, 2010

La grafica permite observar la relación que existe entre la calidad del aire registrada al interior comparado con el exterior de la vivienda para los tres meses de monitoreo continuo (marzo a mayo de 2010).

También se destaca que para el primer mes (marzo) la contaminación por PM₁₀ al interior de la vivienda ($49.35 \mu\text{g}/\text{m}^3$) era levemente mayor que en el ambiente exterior ($42.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$), sin embargo a partir de abril la situación se invierte con dos excepciones para los días 16 y 22 de mayo.

Al igual que en todos los demás sitios de monitoreo, en el mes de marzo se observa un incremento en la concentración de PM₁₀ debido al fuerte verano que se registró en el Área Metropolitana de Bucaramanga. El valor máximo fue de $75.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenido el 26 de marzo de 2010 al interior de la vivienda del barrio la Joya. Posteriormente, a partir de abril, se registró un decremento debido a la presencia de lluvias.

La siguiente grafica muestra el comportamiento IBUCA de la zona Baja de Contaminación:

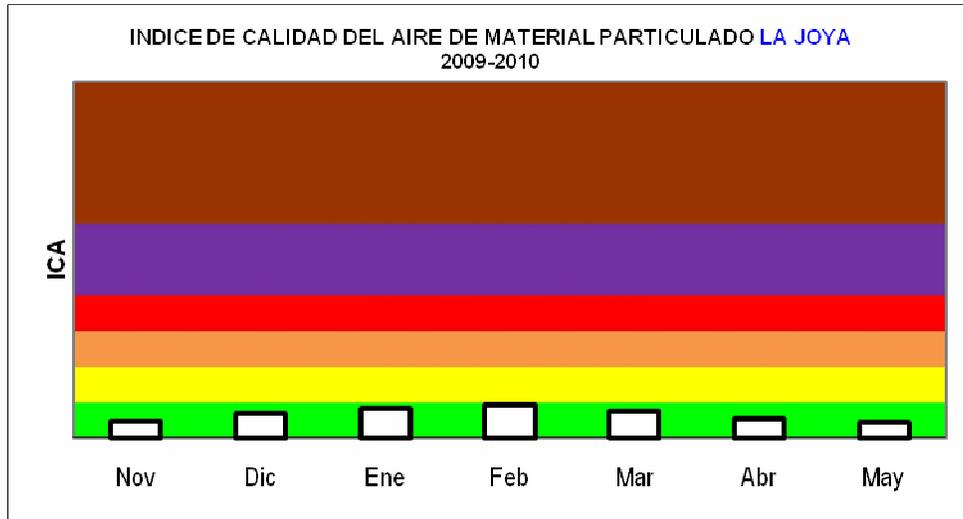


Figura 73. Índice de calidad del aire de PM₁₀ en barrio La Joya

La concentración promedio de PM₁₀ en el barrio La Joya, para los siete meses de monitoreo ha sido de 35.61 µg/m³, valores significativamente bajos que no representan un riesgo importante para la salud de la población de esta zona, según la clasificación del Índice de Calidad del Aire.

g) El Kennedy: Zona Norte del municipio de Bucaramanga, con alta densidad poblacional. Zona principalmente residencial, con un promedio de flujo vehicular entre 110 y 130 vehículos por hora entre semana y sábados y un menor flujo los días domingos. La fuente móvil de mayor circulación y contaminación fueron las motos que constituyen el 38% del flujo vehicular total.

Tipo de Monitoreo	Dirección	Equipo(s) instalado(s)
Exterior + Interior	El Kennedy: Carrera 13 No 13N-07	Partisol 2025 Dustrak

Tabla 26. Ubicación de equipos en el barrio El Kennedy de Bucaramanga



Equipo Manual El Kennedy:
Carrera 13 # 13N-07



Equipo Manual: Interior de la vivienda del Kennedy

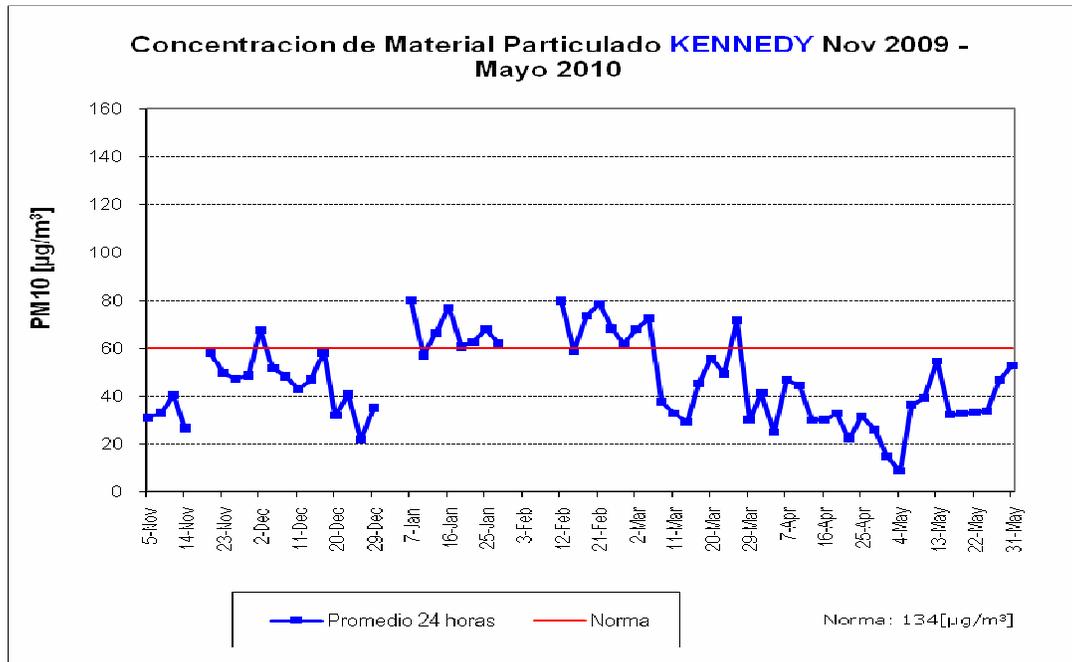


Figura 74. Concentración de PM₁₀ en el barrio Kennedy, Noviembre 2009-Mayo 2010

Los datos de concentración de PM₁₀ obtenidos en la vivienda del barrio Kennedy de la comuna Norte de Bucaramanga, indican valores promedio de 46.57 microgramos por metro cubico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) inferior a la norma anual para este contaminante establecida en $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, aunque en los meses de intenso verano y bajas precipitaciones de enero y febrero de 2010 se superó dicho limite en varios días.

Con respecto al monitoreo “indoor”, este fue realizado con un analizador automático marca Dusttrak²¹ únicamente entre el 20 de noviembre de 2009 y el 19 de enero de 2010. El presente informe, contiene un anexo llamado “Operación de Equipos de Calidad del Aire, ventajas y desventajas” en donde se describe detalladamente la experiencia de utilización de cada uno de los monitores de PM₁₀, incluido el Dusttrak, empleados durante el desarrollo del proyecto.

²¹ Después de esta fecha el equipo presentó problemas en su operación que obligaron al equipo técnico de la CDMB a enviar el equipo de regreso a la ciudad de Bogotá para su respectiva revisión

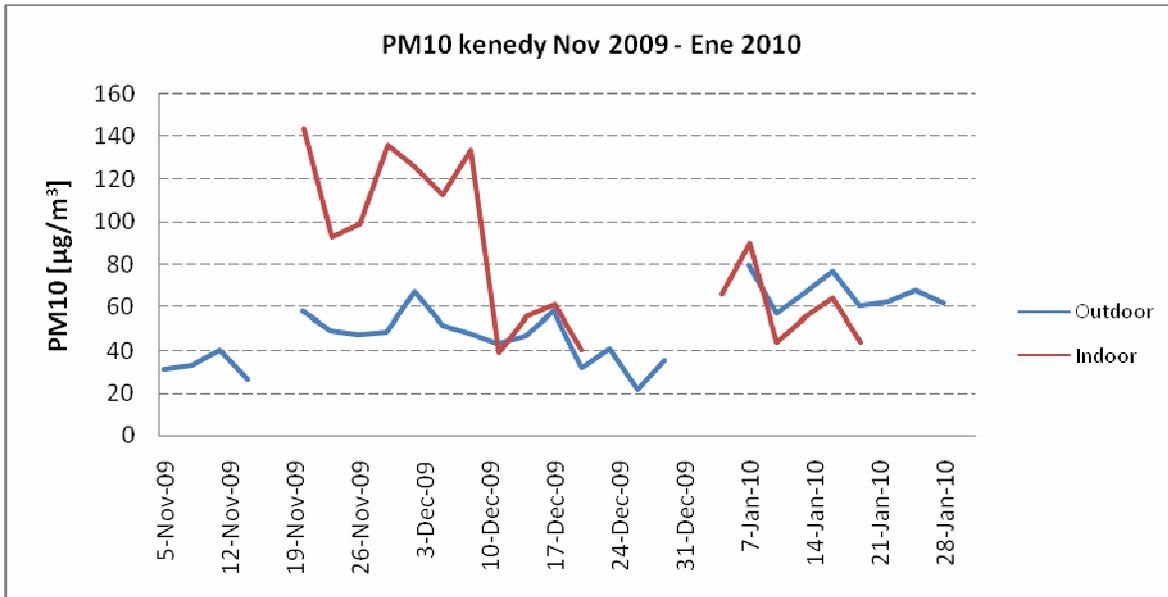


Figura 75. Concentración de interior y exterior de PM₁₀ en el barrio Kennedy, 2010

Aunque se puede evidenciar algún tipo de relación entre la contaminación por partículas al exterior y al interior de la vivienda del barrio El Kennedy, especialmente en la parte final, no se obtuvieron la suficiente cantidad de datos representativos para llevar a cabo un tipo de análisis adecuado, tal como se realizó en las demás zonas.

Análisis comparativo de la concentración de contaminantes

Con el fin de determinar la concordancia entre los niveles de concentración del material particulado en el intradomicilio y el extradomicilio en los puntos de monitoreo se tomaron como series de medición los registros promedios diarios de PM₁₀ de los equipos en los diferentes puntos de monitoreo. Para el análisis estadístico de los datos se utilizó la correlación de Pearson como una medida gruesa de concordancia entre las dos series de datos (intra y extradomicilio en los mismos días de monitoreo).

Como medida específica de acuerdo entre las dos medidas se utilizaron los límites de acuerdo de Bland y Altman con sus intervalos de confianza del 95%. La tabla 20 muestra los resultados obtenidos para cada uno de los puntos de monitoreo:

Tabla 27. Índices de reproducibilidad de concentraciones de PM₁₀ en interiores y exteriores, Bucaramanga, 2010

Zona de contaminación	Punto de monitoreo	Coefficiente de Pearson	Promedio diferencias indoor-outdoor	Intervalo Confianza 95%
Alta	Centro (n=55)	0,64	18,27	-28,67 – 65,22
Media	Cabecera (n=15)	0,08	40,77	-78,64 – 160,19
	Molinos (n=42)	0,08	-22,67	-85,20 – 39,85
Baja	La Joya (n=31)	0,85	0,50	-16,31 – 17,31
Todos los sitios		0,29	4,75	-76,67 – 66,18

Figura 76. Gráfica de Bland y Altman de reproducibilidad de concentraciones en interiores y exteriores en el barrio Centro, Bucaramanga 2010

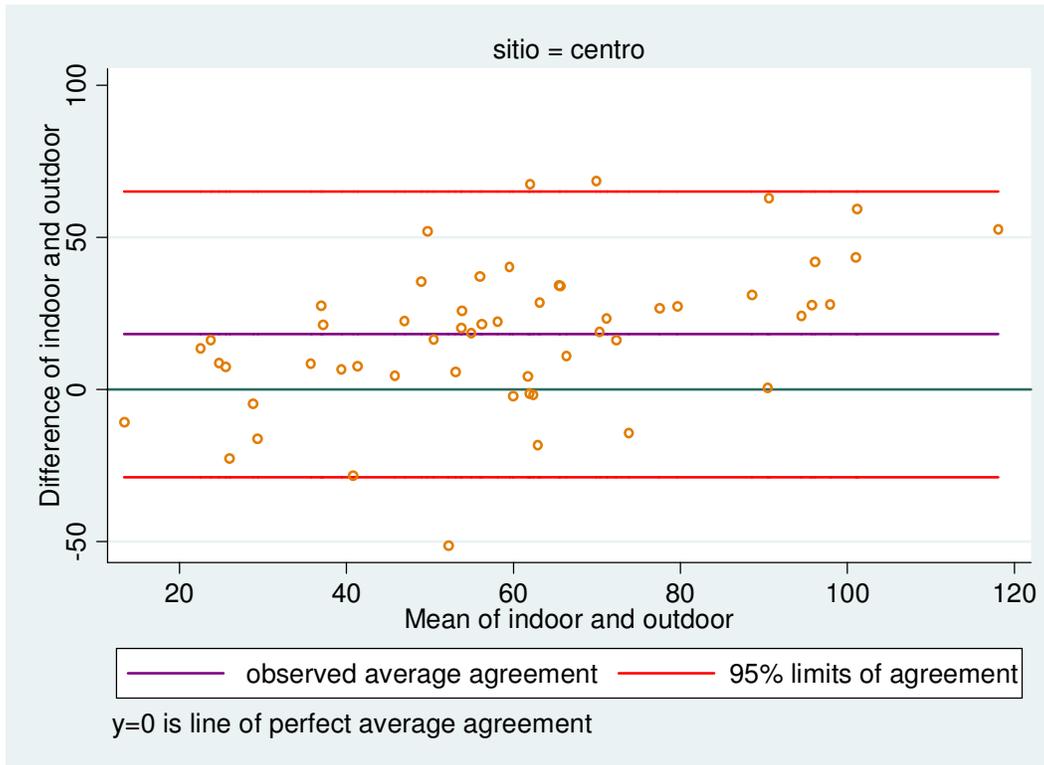


Figura 77. Gráfica de Bland y Altman de reproducibilidad de concentraciones en interiores y exteriores en el barrio Cabecera, Bucaramanga 2010

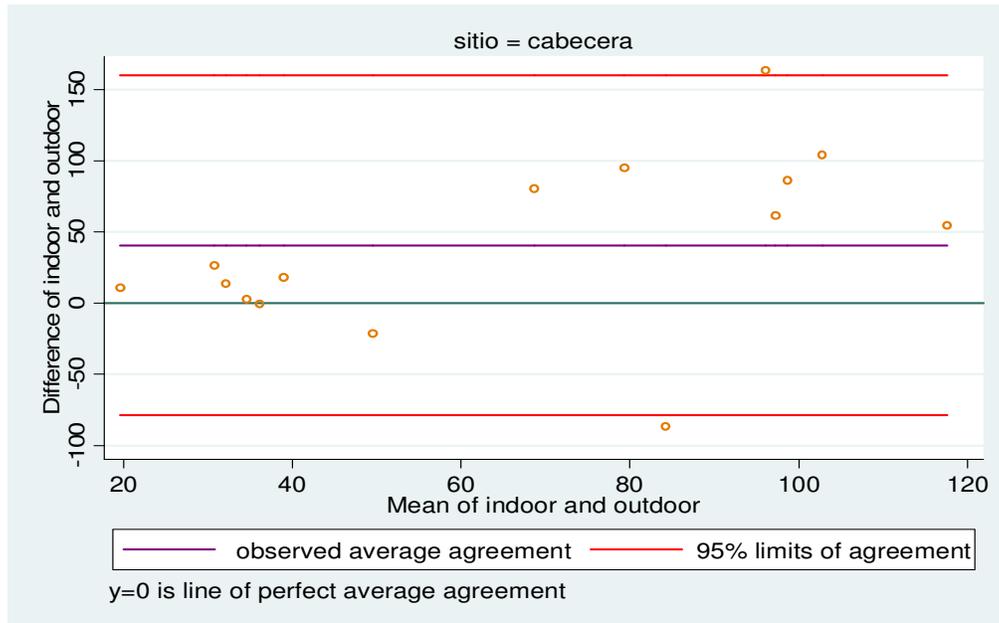


Figura 78. Gráfica de Bland y Altman de reproducibilidad de concentraciones en interiores y exteriores en el barrio Molinos, Bucaramanga 2010

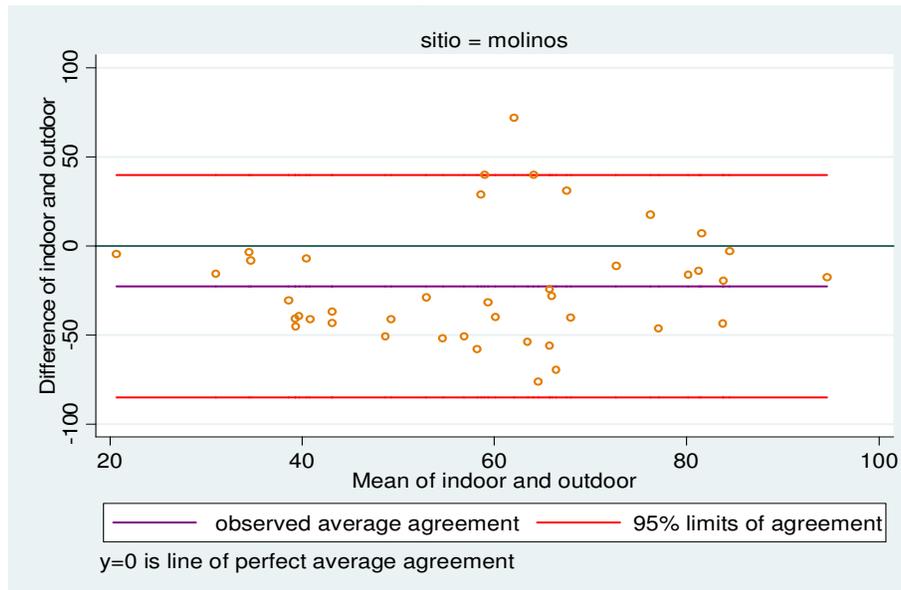
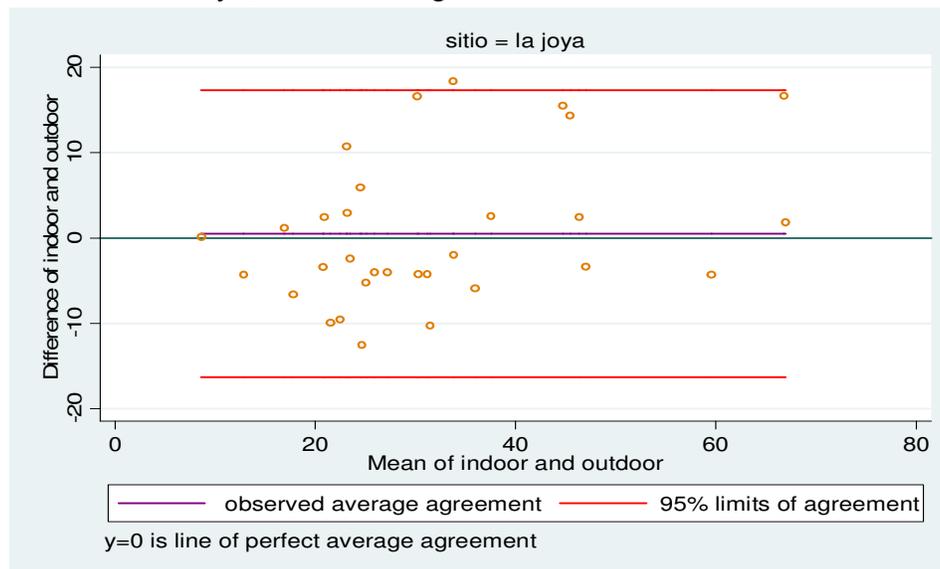


Figura 79. Gráfica de Bland y Altman de reproducibilidad de concentraciones en interiores y exteriores en el barrio La Joya, Bucaramanga 2010



Como soportes de este objetivo se adjuntan a este documento:

Anexo 5: Operación e Instalación de Equipos de Calidad del Aire, ventajas y desventajas

Anexo 6: Procedimiento utilizado para la toma de muestra de MP en equipos LowVol (omni y microvol) de propiedad del MAVDT.

Anexo 7: Hojas de Registro de laboratorio y de campo y Anexo 8: Hojas de vida de equipos

4.4. ANALISIS DE LOS EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN POR PM₁₀ SOBRE LA OCURRENCIA DE SINTOMAS RESPIRATORIOS EN LA POBLACIÓN SENSIBLE

4.4.1. Etapa de reclutamiento

El inicio del reclutamiento de la población objeto se inició el 26 de octubre de 2009 alrededor de tres de los siete puntos de monitoreo y posteriormente se cubrieron todas las áreas establecidas correspondientes a zonas de contaminación alta, media y baja. El trabajo de campo para el reclutamiento de la población el cual culminó el 22 de enero de 2010, fecha hasta la cual se dio el máximo cubrimiento a las áreas establecidas como zona alta que generaron mayor demanda de tiempo para esta actividad.

Durante el trabajo de campo de esta fase de reclutamiento y caracterización de la población objeto, se encontró facilidad para trabajar especialmente en los barrios Norte y La Joya, que corresponden a las zonas de baja contaminación, por lo cual ésta zona fue la primera en completar el número necesario de participantes de acuerdo con los criterios de inclusión y exclusión descritos en la sección de 3.4. de la metodología del estudio.

Entre los barrios de la zona de contaminación media: Molinos (estación Floridablanca), Ricaurte, Cabecera y Ciudadela Real de Minas, se encontró negación repetida de la población de Cabecera a participar obteniendo solamente dos participantes efectivos. Por esta razón fue necesario reemplazar la cantidad de muestra de este barrio por la residente en otros barrios de la misma zona media, especialmente la residente en el barrio Molinos.

La zona alta, compuesta por los barrios del centro de la ciudad, fue la que representó mayor demora para completar el número necesario de participantes por cuanto se encuentra compuesta en gran parte por inmuebles comerciales y algunos residenciales pero con un alto número de personas que se rehusaron a participar, razón por la cual fue necesario ampliar el radio inicial determinado como zona de alta contaminación de acuerdo con las indicaciones y recomendaciones de la CDMB, y así poder reclutar la población objeto. De esta forma la zona alta quedó delimitada geográficamente por el sector de Bucaramanga delimitado al occidente por la carrera 9, al oriente por la carrera 27, al sur por la calle 52 y al norte por la Avenida Quebrada Seca. Se incluyó además el barrio Claveriano ubicado en la zona norte de la ciudad, por tener registros altos de contaminación de acuerdo con el monitoreo realizado por una empresa cementera ubicada en el área de influencia del barrio.

Durante esta fase del proyecto se trabajó con un total de seis (6) auxiliares de salud, una coordinadora y supervisora de calidad del reclutamiento y las entrevistas y se contó con la supervisión general de la investigadora principal del proyecto. El trabajo se realizó en horario diurno de lunes a sábado, principalmente.

A continuación se presenta el análisis de la caracterización de la población reclutada en el estudio en cuanto a sus características socio-demográficas y clínicas al momento de la encuesta. La base de datos de esta caracterización (encuesta basal) se encuentra como Anexo 9 del informe.

4.4.2. Caracterización de la población de estudio

En total se reclutaron 770 personas distribuidas en las zonas de baja (263 personas), media (259 personas) y alta contaminación (248 personas). La tabla 28 muestra algunas características socio-demográficas de la población de estudio.

Tabla 28. Características socio-demográficas de la población de estudio. Bucaramanga, Colombia, 2010

Variable	Zona alta (n=248)		Zona baja (n= 263)		Zona media (n= 259)		Total (n= 770)	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Sexo								
Femenino	150	61.2	167	63.5	152	58.0	469	60.9
Masculino	98	40.0	96	36.5	107	40.8	301	39.1
Edad (mediana años)	46		49		56		52	
Tiempo de residencia en el sector (3 SD)								
6 - 12 meses	25	10.2	3	1.1	20	7.6	48	6.2
13 - 18 meses	2	0.8	3	1.1	4	1.5	9	1.2
19 - 24 meses	24	9.8	7	2.7	2	0.8	33	4.3
Mayor de 24 meses	196	80.0	250	95.1	231	88.2	267	87.9
Nivel de escolaridad								
Guardería o jardín	9	3.6	5	1.9	6	2.3	20	2.6
Primaria	108	43.5	92	35.0	106	40.9	306	39.7
Secundaria	74	29.8	100	38.0	90	34.7	264	34.3
Técnico	32	12.9	46	17.5	36	13.9	114	14.8
Universitario	5	2.0	8	3.0	1	0.4	14	1.8
Ninguna	15	6.0	6	2.3	19	7.3	40	5.2
No aplica	5	2.0	6	2.3	1	0.4	12	1.6
Ocupación actual (SD 88)								
Cesante	24	9.7	1	0.4	12	4.6	37	4.8
Estudiante	42	16.9	7	2.7	43	16.6	92	11.9
Ama de casa	51	20.6	115	43.7	74	28.6	240	31.2
Empleado	10	4.0	6	2.3	13	5.0	29	3.8
Trabajador independiente	40	16.1	28	10.6	34	13.1	102	13.2
Jubilado	18	7.3	16	6.1	32	12.4	66	8.6
No aplica	31	12.5	44	16.7	41	15.8	116	15.1
Régimen de Salud (1 SD)								
Contributivo	158	63.7	193	73.4	102	39.4	453	58.8
Subsidiado	75	30.2	58	22.1	142	54.8	275	35.7
Vinculado	15	6.0	12	2.6	14	5.4	41	5.3

El rango de edad de los participantes estuvo entre 1 y 90 años con una mediana de 52 años (rango intercuartílico entre 16 y 70 años). El 23.2% (n=179) de las encuestas fueron respondidas por los cuidadores habituales de los niños participantes: la madre (62%, 111), otro generalmente la abuela (24%, 43) o el padre (7.8%, 14) y el tío (6.1%, 11).

En la zona alta se incluyeron los barrios: Alfonso López (38), Antonia Santos (15), Centro (15), Chorreras de Don Juan (23), Claveriano (52), Concordia (36), García Rovira (14), Nuevo Sotomayor (6), San Miguel (38) y Villa Romero (11).

En la zona baja se incluyeron los barrios: Kennedy (130), La Joya (131), Olas Altas (1) y Olas Bajas (1). En la zona media se incluyeron los barrios: Mutis (35), Balconcitos (32), Ciudad Valencia (54), Cabecera (2), Gómez Niño (13), Lagos I (19), Molinos Bajos (32), Molinos Altos (37), Naranjos (7) y Ricaurte (28). Del total de encuestados el 74% correspondía a residentes en estrato socioeconómico 3, 14% a estratos 1 y 2 y solamente el 12% a estratos entre 4 y 6.

El 88% de la población del estudio era residente en la zona por un periodo mayor a dos años. La mediana de personas por vivienda fue de 4,5 y la mediana de cuartos por vivienda fue de 3; el 4,5% de las viviendas presentaban hacinamiento (índice>3), siendo mayor en la zona de alta contaminación (7,6%) y menor en la zona media (1,9%) La estructura de las viviendas estaba conformada por techos de placa/teja (45% cada uno) y pisos de baldosín (84%).

4.4.3. Presencia de contaminantes en las viviendas

El combustible para cocinar es predominantemente gas (95%) y el uso de leña solo se encontró en el 0,5% de las viviendas. La mitad de las viviendas reportaron la presencia de dos contaminantes internos y en el 10% se documentaron hasta cuatro.

El consumo de cigarrillos (20.6%) y uso de aerosoles (22,5%) se encontraron como las fuentes de contaminación más frecuentes al interior de las viviendas, siendo más frecuente la presencia de humo de cigarrillo en la zona de baja contaminación y los aerosoles en la de alta contaminación (Ver tabla 22). Por su parte, la presencia de cucarachas y animales domésticos (perros y aves) fueron otros factores ambientales encontrados con bastante frecuencia dentro de las viviendas (51%, 36% y 28%, respectivamente).

En las zonas de estudio se encontraron posibles focos de contaminación atmosférica alrededor de las viviendas dadas principalmente por talleres de zapatería en la zona de baja contaminación (70%) y en la zona de alta contaminación por estos talleres junto con talleres dedicados a carpintería/tapicería (64%); en la zona media también se encontraron presentes estos focos de contaminantes. Adicionalmente, como se muestra en la tabla 29, los habitantes de las zonas altas y media perciben la presencia de alto flujo vehicular alrededor de sus viviendas.

Tabla 29. Contaminantes dentro y alrededor de las viviendas de la población de estudio. Bucaramanga, Colombia, 2009.

Variable	Zona alta (n=248)		Zona baja (n= 263)		Zona media (n= 259)		Total (n= 770)	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Fuentes de contaminantes dentro de la vivienda								
Humo de Cigarrillo	53	21.4	57	21.7	49	18.9	159	20.6
Humo de Tabaco	1	0.4	4	1.5	0	0.0	5	0.6
Uso doméstico de gas para cocinar	245	98.8	260	98.9	256	98.8	761	98.8
Aerosoles	77	31.0	31	11.8	66	25.5	174	22.6
Cocina en espacio independiente	234	94.4	251	95.4	251	96.9	736	95.6
Leña	28	11.3	3	1.1	14	5.4	45	5.8
Carbón	2	0.8	0	0.0	11	4.2	13	1.7
Otros factores ambientales presentes dentro de la vivienda								
Moho u hongos	31	12.5	8	3.0	29	11.2	68	8.8
Humedad	64	25.8	32	12.2	44	17.0	140	18.2
Cucarachas	132	53.2	112	42.6	148	57.1	392	50.9
Gato	54	21.8	31	11.8	34	13.1	119	15.5
Perro	83	33.5	104	39.5	92	35.5	279	36.2
Aves	64	25.8	70	26.6	82	31.7	216	28.1
Roedores	68	27.4	92	35.0	49	18.9	209	27.1
Fuentes de emisión de Contaminantes alrededor de la vivienda								
Hornos	181	73.0	42	16.0	109	42.1	332	43.1
Ornamentación	122	49.2	58	22.1	57	22.0	237	30.8
Zapatería	154	62.1	184	70.0	125	48.3	463	60.1
Ladrillera / Fábrica cemento	50	20.2	55	20.9	6	2.3	111	14.4
Basurero/escombrero	59	23.8	61	23.2	52	20.1	172	22.3
Carpintería/Tapicería	164	66.1	117	44.5	116	44.8	397	51.6
Alto flujo vehicular	204	82.3	97	36.9	197	76.1	498	64.7
Construcciones	106	42.7	30	11.4	99	38.2	235	30.5

4.4.4. Antecedentes familiares y personales de los participantes

Entre los antecedentes familiares el 43% de los participantes de las zonas alta y media manifestaron que sus familiares sufrían de gripas frecuentes, mientras el 38% de los de la zona baja realizaron la misma afirmación. Entre el 32% y 38% de los participantes refirieron antecedentes de asma en algún familiar.

En la zona alta el 11,6% tenía antecedentes familiares de bronquitis crónicas mientras en las otras zonas esta proporción fue de 7.6%. Finalmente la presencia de antecedente familiar de tuberculosis fue diferente en las tres zonas siendo mayor en la zona alta (8%), seguido de la media (5,4%) y menor en la zona baja (1.5%).

En los antecedentes personales, el 11.2% de los menores de 7 siete años tenían historia de prematuridad y de los menores de 5 años 84.2% tenían su esquema de vacunación completo para la edad. El 64% afirmó haber estado enfermo del aparato respiratorio en el último año, el 61.8% ha requerido consulta con médico y el 12.6% ha estado hospitalizado por esta causa.

En la tabla 30 se presenta el resumen de los antecedentes personales de enfermedad diagnosticada. En los niños no se encontraron antecedentes de hiperplasia pulmonar, hipertensión pulmonar o tuberculosis; se encontró un niño con diagnóstico de fibrosis quística en la zona media. En los adultos no se encontraron antecedentes de hipertensión pulmonar.

Tabla 30. Antecedentes personales de enfermedad diagnosticada de la población de estudio. Bucaramanga, Colombia, 2009.

Variable	Zona alta		Zona baja		Zona media		Total	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Antecedentes de enfermedad pulmonar o respiratoria								
Niños								
	(n=72)		(n=50)		(n=48)		(n=180)	
Asma	28	38.9	16	32	12	25	56	31.1
Adultos								
	(n=176)		(n=203)		(n=211)		(n=590)	
Asma	59	33.5	48	23.6	60	28.4	167	28.3
Enfermedad pulmonar crónica	16	9.1	10	4.9	17	8.1	43	7.3
Bronquitis	26	14.8	18	8.9	35	16.6	79	13.4
Tuberculosis	2	1.1	1	0.5	6	2.8	9	1.5

Variable	Zona alta (n=248)		Zona baja (n= 263)		Zona media (n= 259)		Total (n= 770)	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Antecedentes de enfermedad cardiovascular								
Niños	(n=72)		(n=50)		(n=48)		(n=180)	
Cardiopatía congénita	1	1.4	1	2.0	0	0.0	2	1.1
Adultos	(n=176)		(n=203)		(n=211)		(n=590)	
Hipertensión arterial	76	43.2	93	45.8	105	49.8	274	46.4
Diabetes	47	26.7	47	23.2	66	31.3	160	27.1
Arritmias	26	14.8	20	9.9	35	16.6	81	13.7
Insuficiencia renal crónica	3	1.7	1	0.5	4	1.9	8	1.4
Insuficiencia cardiaca	14	8.0	49	24.1	27	12.8	90	15.3
Infarto Agudo del Miocardio	5	2.8	3	1.5	12	5.7	20	3.4
Enfermedad cerebro-vascular	1	0.6	3	1.5	6	2.8	10	1.7

4.4.5. Presencia de síntomas respiratorios compatibles con asma

La prevalencia de ruidos respiratorios en el último año en menores de un año fue de 66.6%; en niños de 1 a 14 años fue de 80% y en adultos a partir de 15 años fue de 43.7%. (Ver tablas 31, 32 y 33)

Tabla 31. Síntomas respiratorios en niños menores de un año medidos por cuestionario del Estudio Internacional de Sibilancias en Lactantes (EISL), por zonas en Bucaramanga, 2009

Variable	ALTA (n=1)		BAJA (n= 0)		MEDIA (n= 2)		Total (n= 3)	
	No	%	No	%	No	%	No	%
Ha tenido su bebe sibilancias o síntomas SBO en el pecho en sus primeros 12 meses de vida	0	0	0	0	2	100	2	66.6
A qué edad tuvo su bebé el primer episodio de silbido al pecho (promedio en meses)	1		0		5.5		3,6	
Cuantos episodios de sibilancias en el pecho ha tenido éste primer año de vida								
Más de 6	1	100,00	0	0	0	0	1	33,30
3 a 6	0	0	0	0	2	100,00	2	66,60
Ha recibido su bebe tratamiento con medicamentos inhalados (broncodilatadores)	1	100,00	0	0	2	100,00	3	100,00
Ha recibido su bebe tratamiento con medicamentos inhalados (corticoides)	1	100,00	0	0	2	100,00	3	100,00

Ha recibido su bebe tratamiento con medicamentos antileucotrienos orales	1	100,00	0	0	1	50,00	2	66,60
Ha recibido su bebe tratamiento con corticoides orales	1	100,00	0	0	2	100,00	3	100,00
En estos últimos 12 meses cuántas veces se ha despertado el bebe en la noche debido a tos o silbido en el pecho								
Alguna vez	0	0	0	0	1	50,00	1	33,30
Frecuentemente	0	0	0	0	1	50,00	1	33,30
Rara vez	1	100,00	0	0	0	0	1	33,30
En estos últimos 12 meses las sibilancias en el pecho han sido severas para ir Urgencia	0	0	0	0	2	100,00	2	66,60
En estos últimos 12 meses las sibilancias en el pecho ocasiono dificultad para respirar	0	0	0	0	1	50,00	1	33,3
El bebe ha estado hospitalizado por Síndrome bronco-obstructivo	0	0	0	0	1	50	1	33,3
Alguna vez el médico dijo que su bebé tenia asma	1	100,00	0	0	1	50	2	66,6
Ha tenido su bebé neumonía/bronconeumonía	1	100,00	0	0	1	50	2	66,6
Ha estado su bebé hospitalizado por neumonía/bronconeumonía	0	0	0	0	1	50	1	33,3

Tabla 32. Síntomas respiratorios en niños de uno a catorce años medidos por cuestionario ISAAC, por zonas Bucaramanga, 2009

Variable	ALTA (n=71)		BAJA (n= 60)		MEDIA (n= 46)		Total (n= 177)	
	No	%	No	%	No	%	No	%
Alguna vez ha tenido su hijo silbidos en el pecho en el pasado	59	83,10	55	91,67	38	82,61	152	85,8757
En los últimos 12 meses ha tenido su hijo silbido en el pecho	52	73,24	51	85,00	39	84,78	142	80,226
En los últimos 12 meses cuantos ataques de silbidos en el pecho ha tenido el niñ@							0	0
> 12	2	2,82	4	6,67	0	0	6	3,38983
1 A 3		0,00	10	16,67	0	0	10	5,64972
4 A 12	48	67,61	35	58,33	38	82,61	121	68,3616
Ninguno	15	21,13	11	18,33	4	8,696	30	16,9492
En los últimos 12 meses cuantos veces ha despertado su hijo de noche por silbidos							0	0

menos de 1	22	30,99	29	48,33	13	28,26	64	36,1582
Nunca	26	36,62	5	8,33	13	28,26	44	24,8588
una o más	18	25,35	27	45,00	18	39,13	63	35,5932
En los últimos 12 meses los silbidos no permiten a su hijo decir 2 palabras seguidas	29	40,85	32	53,33	25	54,35	86	48,5876
Ha tenido su hijo, alguna vez asma	48	67,61	43	71,67	26	56,52	117	66,1017
En los últimos 12 meses ha notado silbidos durante o después de hacer ejercicio	37	52,11	35	58,33	25	54,35	97	54,8023
En los últimos 12 meses ha tenido tos seca por la noche que no haya sido la tos por infección	0	0,00	0	0,00	0	0	0	0

Tabla 33. Síntomas respiratorios en adultos a partir de los 15 años medidos por cuestionario IUATLD, por zonas Bucaramanga, 2009

Variable	ALTA (n=176)		BAJA (n= 203)		MEDIA (n= 211)		Total (n= 590)	
	No	%	No	%	No	%	No	%
Ha tenido sibilancias en el pecho alguna vez en los últimos 12 meses	77	43,75	82	40,39	99	46,92	258	43,7288
Se ha despertado por la noche alguna vez en los 12 últimos meses por falta de aire	102	57,95	100	49,26	92	43,6	294	49,8305
Se ha despertado por la noche por culpa de un ataque tos alguna vez en los 12 últimos meses	83	47,16	100	49,26	98	46,45	281	47,6271
Se ha despertado por la noche por sensación de opresión en el pecho en últimos 12 meses	103	58,52	108	53,20	106	50,24	317	53,7288
Ha sentido alguna vez falta de aire después de realizar actividad agotadora	41	23,30	58	28,57	34	16,11	133	22,5424
Ha sentido alguna vez falta de aire durante el día cuando no estaba haciendo ningún esfuerzo	39	22,16	108	53,20	47	22,27	194	32,8814
Aparecen síntomas con menor frecuencia, o ni siquiera aparecen, los días en que está lejos del trabajo y de vacaciones.	29	16,48	68	33,50	23	10,9	120	20,339

4.4.6. Informe del seguimiento a participantes

De las 770 personas participantes en la encuesta basal, 751 personas (97,5%) participaron también en el seguimiento por medio de un calendario diario de síntomas (244 en zona alta, 247 en zona media y 260 en zona baja). La recolección de los calendarios se realizó en el mes siguiente (mes vencido) por medio de visita domiciliaria por parte de las auxiliares del proyecto con el fin de asegurar su entrega, aclarar y corregir posibles errores de diligenciamiento y recibir inquietudes sobre el estudio. Adicionalmente según la necesidad se realizaron seguimientos telefónicos a algunos participantes que por sus manifestaciones o características podrían ser posibles abandonos del estudio; esto con el fin de disminuir la cantidad de pérdidas en la población de estudio y por lo tanto evitar la introducción de un sesgo de selección en el mismo. La siguiente tabla presenta la distribución de los calendarios (uno por participantes) que se mantuvieron en el estudio en cada uno de los seis (6) meses de seguimiento según la zona de contaminación:

Tabla 34. Participantes en estudio de seguimiento según zonas Bucaramanga, 2009-2010

Zona	Nov 2009	Dic 2009	Ene 2010	Feb 2010	Mar 2010	Abr 2010
Alta	150	171	229	222	188	197
Media	154	241	131	202	229	228
Baja	260	209	193	188	242	244
Total	564	621	553	612	659	669

En total se tuvo un tiempo-persona de participación de 104.671 días-persona, de los cuales 34.666 fueron en zona alta, 33.467 en zona media y 36.538 en zona baja. Con estos tiempos-persona como denominadores en la tabla 35 se muestran las tasas de incidencia de síntomas para cada una de las zonas y para el total. En el anexo 10 se adjunta la base de datos del seguimiento

Tabla 35. Tasas de incidencia de síntomas irritativos y respiratorios según zonas de contaminación, Bucaramanga 2009-2010

Síntomas	Zona Alta (34.666 p-tiempo)		Zona Media (33.467 p-tiempo)		Zona Baja (36.538 p-tiempo)		Total (104.671 p-tiempo)	
	No.persona- dias	Tasa por 100 p/dia	No.persona- dias	Tasa por 100 p/dia	No.persona- dias	Tasa por 100 p/dia	No.persona- dias	Tasa por 100 p/dia
Total síntomas								
	4899	14,13	12506	37,37	19718	53,97	37123	35,47
Tos seca	1621	4,68	4214	12,59	7044	19,28	12879	12,30

Tos con flemas	1342	3,87	3585	10,71	4286	11,73	9213	8,80
Asfixia	969	2,80	3140	9,38	4769	13,05	8878	8,48
Sibilancias	968	2,79	1716	5,13	1895	5,19	4579	4,37
Uso inhalador	1216	3,51	3370	10,07	2106	5,76	6692	6,39
Lagrimo	592	1,71	1714	5,12	2429	6,65	4735	4,52
Estornudo	2488	7,18	10127	30,26	6436	17,61	19051	18,20
Aumento medicinas	207	0,60	464	1,39	572	1,57	1243	1,19
Aumento síntomas	77	0,22	144	0,43	70	0,19	291	0,28
Visita a Consulta Externa	113	0,33	362	1,08	495	1,35	970	0,93
Visita a urgencias	25	0,07	125	0,37	135	0,37	285	0,27
Visita a hospitalización	55	0,16	118	0,35	133	0,36	306	0,29
Diagnóstico asma	7	0,02	19	0,06	33	0,09	59	0,06

Estos datos muestran que las tasas de incidencia más altas se presentaron de forma consistente en la zona de baja contaminación para casi la totalidad de las variables del seguimiento.

El análisis comparativo por zonas (tabla 36) muestra que teniendo como zona de referencia de comparación la zona de alta contaminación, se mantiene un mayor riesgo de incidencia en la zona de baja contaminación, para la mayoría de síntomas; el que presenta una mayor razón de incidencias es la asfixia que en la zona de baja contaminación tiene un 73% más de incidencia comparado con las personas que viven en la zona de alta contaminación.

Por el contrario, la aparición de sibilancias y la necesidad de hospitalización fueron menores en las zonas de contaminación baja y media. En el caso de las sibilancias, éstas aparecieron con un 40% menos de frecuencia en la zona baja que en la zona alta. La hospitalización, por su parte, fue 30% menos frecuente en las personas que residen en la zona de baja contaminación.

Tabla 36. Razones de las tasas de incidencia de síntomas irritativos y respiratorios según zonas de contaminación, Bucaramanga 2009-2010

Tipo de síntoma	Zona de contaminación IRR (IC 95%)		
	Alta	Media	Baja
Total Síntomas	1	1,14 (1,11-1,16)	1,38 (1,36-1,41)
Tos seca	1	1,10 (1,05-1,15)	1,61 (1,54-1,68)
Tos con flemas	1	1,03 (0,98-1,08)	1,00 (0,95-1,05)
Asfixia	1	1,54 (1,46-1,63)	1,73 (1,64-1,83)
Sibilancias	1	0,93 (0,86-0,99)	0,59 (0,55-0,64)
Uso inhalador	1	1,05 (0,99-1,10)	0,34 (0,33-0,37)
Lagrimeo	1	1,13 (1,04-1,21)	1,52 (1,41-1,63)
Estornudo	1	1,13 (1,09-1,18)	1,57 (1,51-1,62)
Visita a Consulta			
Externa	1	1,35 (1,15-1,60)	1,55 (1,32-1,82)
Visita a Urgencias	1	1,28 (0,96-1,72)	1,22 (0,91-1,64)
Hospitalización	1	0,48 (0,33-0,64)	0,69 (0,54-0,90)

IRR: Incidente Rate Ratio

IC95%: intervalo de Confianza del 95%

4.4.7. Análisis de incidencia de síntomas respiratorios por zonas según registros de monitoreo ambiental noviembre 2009 – abril 2010

Teniendo en cuenta que las concentraciones de PM10 en las diferentes zonas de monitoreo mostraron que en algunos barrios los niveles registrados durante el tiempo de seguimiento no correspondieron a la clasificación inicial de nivel de contaminación se realizó un segundo análisis de la incidencia de síntomas por zonas. Las nuevas zonas se agruparon teniendo en cuenta los mismos rangos de niveles de concentraciones de PM10 que se mencionaron en los apartados anteriores (<40, 40 a 60 y > 60). Se reclasificaron los barrios a cada zona de acuerdo con el registro de monitoreo en los meses de seguimiento así:

Zona alta: Centro, Molinos (Floridablanca, Cañaveral), Claverianos

Zona media: San Miguel, Concordia, Ricaurte, Cabecera, Kennedy

Zona baja: La Joya, Ciudadela Real de Minas

Con esta nueva clasificación de zonas se calcularon nuevamente las tasas de incidencia y las correspondientes razones de tasas que se presentan en las tablas 37 y 38.

Tabla 37. Tasas de incidencia de síntomas irritativos y respiratorios según zonas observadas de contaminación, Bucaramanga 2009-2010

Síntomas	Zona Alta (37.240 p-tiempo)		Zona Media (31.360 p-tiempo)		Zona Baja (36.540 p-tiempo)		Total (105.140 p-tiempo)	
	No.persona- días	Tasa por 100 p/día	No.persona- días	Tasa por 100 p/día	No.persona- días	Tasa por 100 p/día	No.persona- días	Tasa por 100 p/día
Total síntomas	6353	17,06	23345	74,44	19455	53,24	49153	46,75
Tos seca	4077	10,95	4833	15,41	3968	10,86	12878	12,25
Tos con flemas	3727	10,01	2782	8,87	2704	7,40	9213	8,76
Asfixia	2678	7,19	3627	11,57	2573	7,04	8878	8,44
Sibilancias	1791	4,81	1449	4,62	1339	3,66	4579	4,36
Uso inhalador	3036	8,15	2004	6,39	1652	4,52	6692	6,36
Lagrimeo	1563	4,20	1998	6,37	1174	3,21	4735	4,50
Estornudo	6353	17,06	6652	21,21	6045	16,54	19050	18,12
Aumento medicinas	594	1,60	469	1,50	180	0,49	1243	1,18
Aumento síntomas	124	0,33	133	0,42	34	0,09	291	0,28
Visita a Consulta Externa	303	0,81	312	0,99	352	0,96	967	0,92
Visita a urgencias	100	0,27	115	0,37	70	0,19	285	0,27
Visita hospitalización	64	0,17	174	0,55	68	0,19	306	0,29

Tabla 38. Razones de tasas de incidencia de síntomas irritativos y respiratorios según zonas observadas de contaminación, Bucaramanga 2009-2010

Tipo de síntoma	Zona de contaminación IRR (IC 95%)		
	Alta	Media	Baja
Total Síntomas	1	1.13 (1.11-1.15)	1.14 (1.11-1.16)
Tos seca	1	1.34 (1.28-1.40)	1.26 (1.21-1.32)
Tos con flemas	1	0.81 (0.77-0.86)	0.99 (0.95-1.04)
Asfixia	1	1.56 (1.47-1.64)	1.47 (1.40-1.55)
Sibilancias	1	0.84 (0.78-0.91)	1.06 (0.99-0.13)
Uso inhalador	1	0.68 (0.64-0.73)	0.76 (0.72-0.80)
Lagrimeo	1	1.55 (1.41-1.66)	1.00 (0.99-1.07)
Estornudo	1	1.20 (1-16-1.25)	1.24 (1.20-1.28)
Visita a Consulta Externa	1	1.10 (0.94-1.30)	1.43 (1.23-1.66)
Visita a Urgencias	1	1.27 (0.94-1.70)	1.30 (0.98-1.73)
Hospitalización	1	3.73 (2.75-5.07)	1.54 (1.09-2.18)

IRR: Incidente Rate Ratio

IC95%: intervalo de Confianza del 95%

La reclasificación por zonas según la concentración de PM₁₀ durante el periodo de seguimiento, no muestra modificación sustancial de los resultados anteriores en relación con

el total de síntomas. Se observa que además de las sibilancias, el uso de inhalador y la tos con flemas presentan mayor frecuencia en la zona alta, pero contrario al análisis anterior la hospitalización cambia su patrón completamente representando mayor riesgo de hospitalización en la zona media y baja, respectivamente. Esta observación permite concluir que la zona de Molinos probablemente es la causante de este comportamiento debido a que fue ésta zona la que cambió a zona alta.

4.4.8. Análisis bivariado y estratificado

Teniendo en cuenta que otras variables de tipo personal, familiar o del entorno pueden también tener efecto sobre el desarrollo de síntomas respiratorios en la población con morbilidad se realizaron análisis bivariados y estratificados para evaluar este efecto y controlar potenciales sesgos de confusión en el estudio.

La tabla 39 presenta las variables asociadas estadísticamente en el análisis bivariado con síntomas respiratorios y la evaluación de la confusión o modificación del efecto en el análisis estratificado.

Tabla 39. Variables potencialmente confusoras del efecto sobre la incidencia de síntomas respiratorios en población sensible, Bucaramanga 2009-2010

Variable	Coficiente	Valor p	Confusión / Modificación
Edad	0,27	0,013	SI/NO
Aerosoles	-0,1491	0,042	NO/SI
Cocina aparte	-45,08	0,002	NO/SI
Hongos	19,9	0,061	NO/SI
Cucarachas	-37,35	0,000	NO/SI
Aves	-15,15	0,023	SI/NO
Roedores	-27,46	0,000	NO/SI
Ornamentación	-17,75	0,008	NO/SI
Zapatería	-25,62	0,000	NO/NO
Ladrillería	57,37	0,000	NO/SI
Basurero	-25,55	0,000	NO/SI
Carpintería	-23,00	0,000	NO/NO
Construcciones	13,38	0,043	NO/SI
Bronquitis crónica	25,02	0,017	NO/SI
Enf respiratorio ult año	42,90	0,000	NO/SI
Consulta médica resp ult año	40,24	0,000	NO/SI
Dx enf resp crónica	40,06	0,000	NO/SI
Diabetes	-29,91	0,000	NO/SI
Isuf cardiaca	50,21	0,000	NO/SI
Enf cerebrovascular	56,04	0,030	NO/NO

4.4.9. Análisis multivariado

Teniendo en cuenta que el efecto potencialmente confusor de las variables presentadas en la tabla 10 y con el objetivo de ajustar el efecto de los niveles de contaminación sobre la incidencia de síntomas respiratorios por estas variables, se realizó un análisis multivariado de tipo multinivel. Se escogió un modelo multinivel de poisson porque se reconocen diferentes niveles de agrupamiento de la población (hogar, barrio, zona) que pueden tener efecto sobre el desenlace; se seleccionó un modelo de poisson debido a que es el modelo estadístico de preferencia para variables de tipo cuantitativo de conteo como es la variable síntomas.

Los resultados de este análisis muestran que ajustando por el efecto de otras variables asociadas, el efecto de la contaminación atmosférica en la zona alta (igual o superior a 60ug /m³) es significativo para el desarrollo de síntomas respiratorios en población sensible. El modelo muestra que la tasa de incidencia de síntomas respiratorios es 64% más alta en la zona de alta contaminación comparada con la zona media y 77% más alta que en la zona baja (Tabla 40).

Tabla 40. Modelo multivariado multinivel de síntomas respiratorios en zonas de diferente nivel de contaminación atmosférica, Bucaramanga 2009-2010

Variable	Síntomas generales		Sibilancias	
	IRR*	IC 95%	IRR *	IC95%
Area media/alta	0.36	0.21-0.62	0.29	0.14-0.62
Area baja/alta	0.23	0.12-0.43	0.34	0.15-0.77
Aerosoles	0.94	0.92-0.97	0.71	0.65-0.78
Hongos	1.19	1.16-1.23	1.23	1.10-1.37
Aves	0.89	0.87-0.91	0.76	0.70-0.82
Ornamentación	0.87	0.85-0.89	0.65	0.59-0.72
Fábricas de ladrillo/cemento	1.15	1.11-1.19	1.6	1.38-1.85
Basurero	0.78	0.76-0.80	0.74	0.67-0.82
Construcciones	1.11	1.08-1.13	0.97	0.89-1.00
Enfermedad respiratoria último año	1.49	1.45-1.53	2.9	2.57-3.31
Diabetes	0.73	0.71-0.75	0.64	0.57-0.71
Insuficiencia Cardíaca Congestiva	1.28	1.24-1.31	1.64	1.49-1.81

*IRR= Incidence Rate Ratio= Razón de tasas de incidencia

Adicionalmente, el modelo muestra que otros factores con efecto muy significativo sobre el desarrollo de síntomas respiratorios en estas poblaciones son el antecedente de enfermedad respiratoria en el último año, la insuficiencia cardíaca congestiva, la presencia de hongos en la vivienda y residir cerca de fábricas de ladrillo/cemento o de construcciones.

4.4.10. Relación entre Incidencia diaria de síntomas por día y concentración promedio diaria de PM₁₀ según zona de contaminación, Bucaramanga 2009-2010

Para el análisis de la relación entre el número de síntomas totales diarios y el promedio diario de PM₁₀ se utilizaron las correlaciones de Pearson. Para determinar un nivel promedio de PM₁₀ en la ciudad se utilizó el promedio de los tres datos promedios diarios en cada punto de monitoreo (zonas alta, media y baja). La correlación de esta medición promedio total de PM₁₀ y el total de síntomas registrados (sumatoria de síntomas diarios en las tres zonas) fue de 0,66, indicando un nivel de correlación regular entre los datos de las variables.

El mismo análisis de correlación se realizó para la serie de datos en cada zona de monitoreo obteniendo niveles de correlación aún menores: zona alta -0,44 y 0,38 para zonas media y baja. El signo negativo de la correlación obtenido para la zona alta significa que la relación es inversa, es decir, mientras los niveles promedio diarios de PM₁₀ aumentan la sumatoria diaria de síntomas disminuye, de forma general.

Lo anterior permite concluir de manera general, que la variación de los niveles registrados de PM₁₀ en exteriores no parece ser una explicación adecuada a la variación de síntomas diarios totales. Las figuras 80 a 83 muestran la representación gráfica de estas correlaciones.

Figura 80. Incidencia diaria de síntomas vs concentración promedio diaria de PM₁₀, Bucaramanga 2009-2010

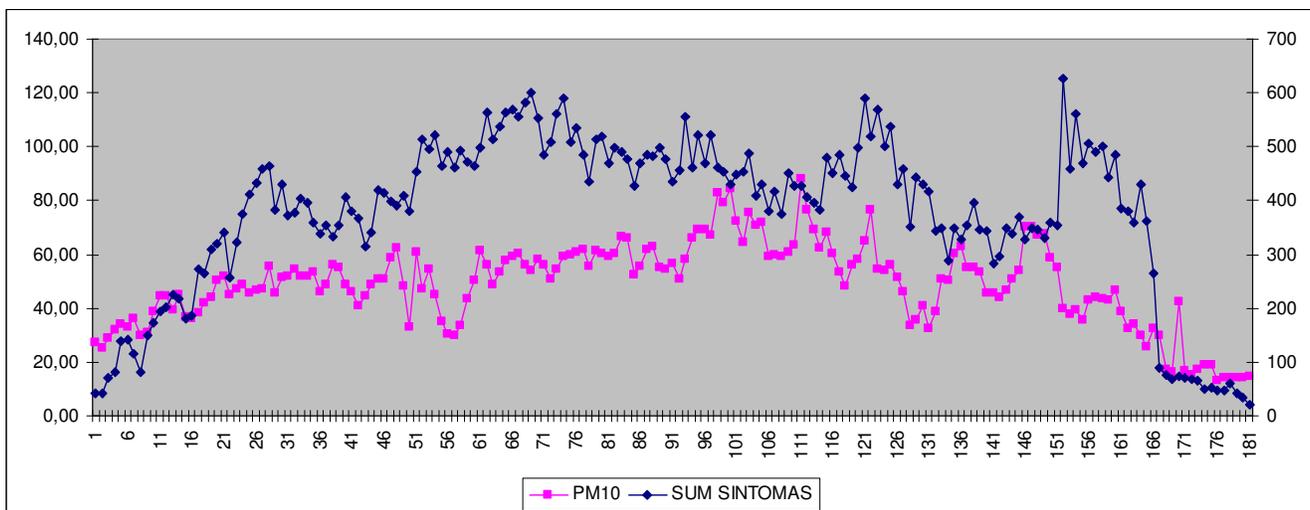


Figura 81. Incidencia diaria de síntomas vs concentración promedio diaria de PM₁₀ en zona de alta contaminación, Bucaramanga 2009-2010

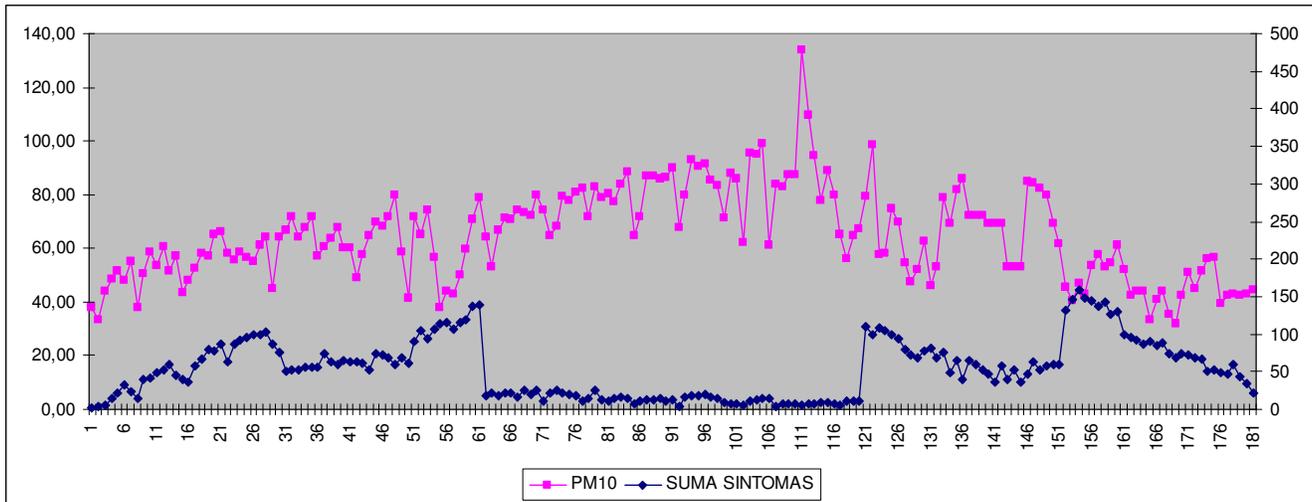


Figura 82. Incidencia diaria de síntomas vs concentración promedio diaria de PM₁₀ en zona de contaminación media, Bucaramanga 2009-2010

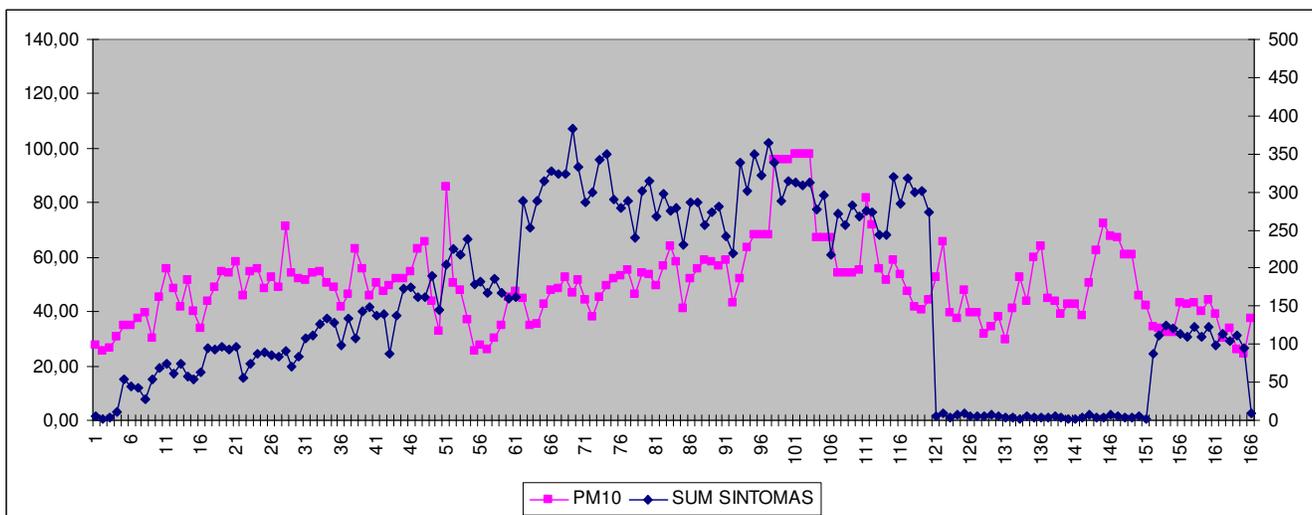
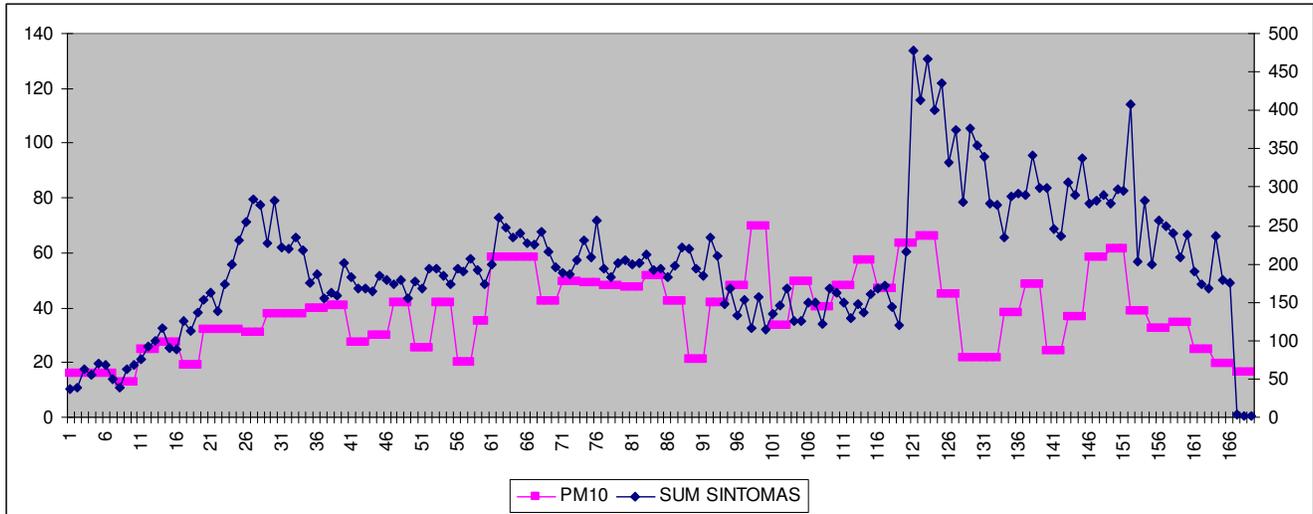


Figura 83. Incidencia diaria de síntomas vs concentración promedio diaria de PM₁₀ en zona de baja contaminación, Bucaramanga 2009-2010



4.4.11. Análisis de panel para las variables de estudio

Teniendo en cuenta que en nuestro estudio la variable de tiempo fueron los días de seguimiento (181 días), que la variable dependiente son los síntomas y que la variable independiente es la concentración promedio diaria de PM₁₀, se construyeron modelos de tiempo tipo panel usando rezagos (tiempo de latencia) de cero, tres y seis días debido a que la disponibilidad de los datos en los equipos manuales es cada tercer día. El modelo utilizado fue un análisis tipo panel de poisson de efectos aleatorios en el programa Stata 10.0

Los resultados se presentan en la tabla 41, en la que se observa que la relación entre concentraciones diarias de PM₁₀ y el total de síntomas muestra un coeficiente no significativo en todos los rezagos evaluados (cero, tres y seis días). De esta forma en el presente estudio no se evidencia una relación directa de síntomas respiratorios con variaciones agudas de niveles diarios de PM₁₀.

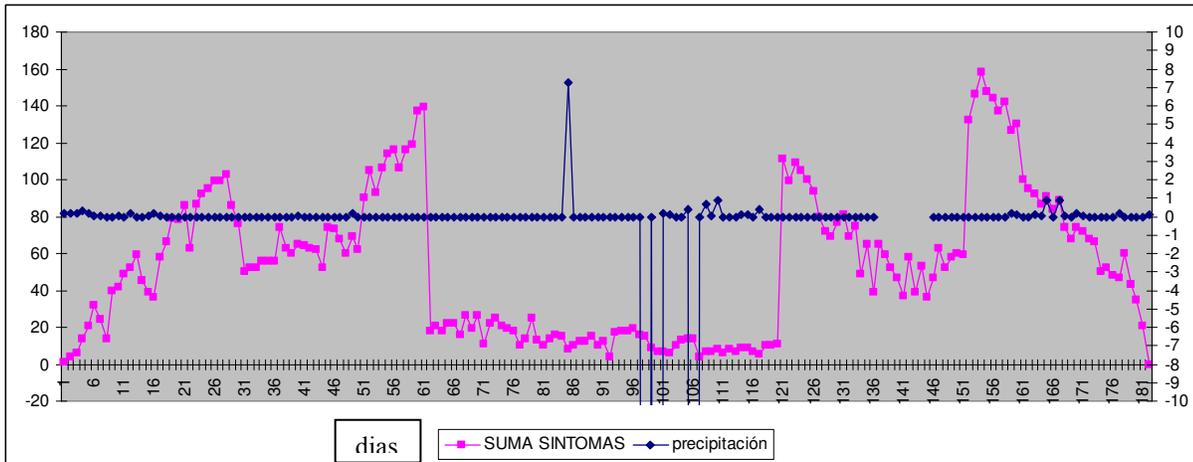
Tabla 41. Modelo tipo panel para el total de síntomas y concentraciones diarias de PM₁₀, Bucaramanga 2009-2010

Síntomas	Coefficiente	Valor p	Intervalo Confianza 95%	
PM10 rezago 0días	-.0000499	0.954	-.0017461	.0016463
PM10 rezago 3días	.000011	0.990	-.0017646	.0017867
PM10 rezago 6días	.000119	0.886	-.0015125	.0017504
Precipitación	-.0001444	0.896	-.0023152	.0020264
Temperatura	.0005545	0.929	-.0117045	.0128135
Humedad relativa	-.0001758	0.875	-.0023625	.002011

4.4.12. Relación entre incidencia diaria de síntomas por día y variables meteorológicas, Bucaramanga 2009-2010

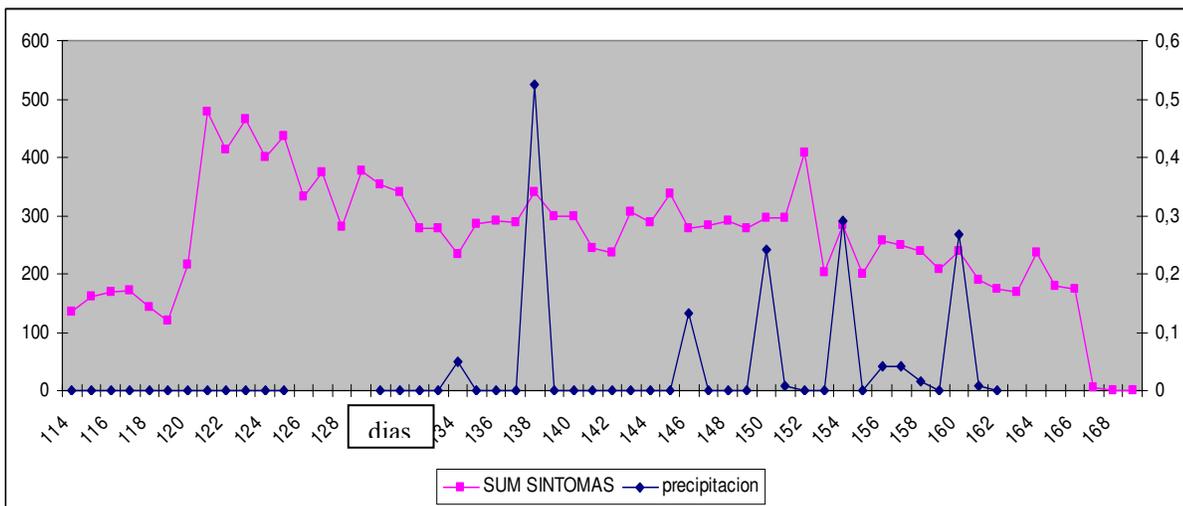
Los hallazgos anteriores mostraron que no se encuentra una correlación consistente entre los síntomas respiratorios y las variaciones de humedad relativa, precipitación ni temperatura. En las gráficas se observa además, que parece existir un patrón diferente de presentación de incidencia de síntomas en los meses de tiempo seco y el inicio del tiempo lluvioso. Por esta razón se exploró entonces la correlación de los síntomas registrados en los pacientes participantes en el seguimiento con los registros de precipitación, humedad y temperatura de una de las estaciones meteorológicas automáticas (centro) y una de las manuales (La Joya) instaladas en los sitios de monitoreo. De las otras estaciones no se realizaron correlaciones por cuanto el tiempo de monitoreo meteorológico no fue el mismo del tiempo de monitoreo diario de síntomas. La correlación en la zona centro (alta contaminación) entre síntomas por día y precipitación fue sólo de 0,14 (Ver figura 5), para temperatura de 0,02 y para humedad relativa fue de 0,17, valores que indican un nivel muy bajo de correlación entre las dos variables.

Figura 84 Incidencia diaria de síntomas por día y precipitación en zona alta de contaminación, Bucaramanga 2009-2010



La correlación en La Joya (baja contaminación) entre síntomas por día y precipitación fue sólo de 0,05 (Ver figura 85), para temperatura de 0,15 y para humedad relativa fue de -0,22.

Figura 85. Incidencia diaria de síntomas por día y precipitación en zona baja de contaminación, Bucaramanga 2009-2010



4.5. DETERMINACIÓN DE LA PRESENCIA DEL NIVEL UMBRAL DE CONCENTRACIÓN DE PM₁₀ PARA LA APARICIÓN O EXACERBACIÓN DE SÍNTOMAS EN POBLACIONES DE RIESGO EN SALUD.

Teniendo en cuenta los resultados del análisis multivariado, el efecto negativo sobre la salud en términos de aparición de síntomas respiratorios se presenta en áreas de contaminación alta pero no se encontraron diferencias entre las áreas de contaminación media y baja.

De esta manera del presente estudio se podría concluir que el umbral de concentración de PM₁₀ para la aparición o exacerbación de síntomas en población con enfermedad cardiovascular o respiratoria en Bucaramanga y Floridablanca es de 60ug/m³. Esta conclusión se sustenta en los resultados obtenidos, específicamente en la observación que la tasa de incidencia de síntomas respiratorios es 64% mayor en la zona de alta contaminación comparada con la zona media y 77% mayor que en la zona baja, y que entre las zonas de contaminación media y baja no se encontraron diferencias significativas en la aparición de síntomas.

5. INFORME FINANCIERO

Teniendo en cuenta la asignación de recursos para el proyecto por parte del MAVDT en el anexo 11 se relacionan los conceptos y rubros comprometidos y ejecutados con corte a 30 de junio de 2010.

6. CONCLUSIONES

CARACTERIZACIÓN DE FUENTES DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

- El monitoreo de fuentes fijas y móviles en seis puntos de la ciudad de Bucaramanga permite establecer que el mayor flujo de fuentes móviles se presenta en la zona centro (diag 15 con cra 17) con un promedio de flujo vehicular entre 160 y 230 vehículos por hora. En el punto Molinos Altos, correspondiendo a Floridablanca, se observó también un promedio horario similar; en estos dos puntos se registraron altas participaciones de fuentes móviles tipo motos (en Molinos) y autos (en Cra 17) que llevan a niveles medios y altos de contaminación por contaminantes como PM₁₀ y NO_x, que se ha documentado tienen efectos negativos sobre la salud humana, especialmente a nivel respiratorio. Los puntos de la Joya y el Hospital Local del Norte fueron los que registraron menores niveles de fuentes móviles con promedios horarios menores a 100 vehículos.
- De acuerdo con el inventario de fuentes, las fuentes móviles son las principales generadoras de contaminación atmosférica en el municipio de Bucaramanga y en la zona observada de Floridablanca con un aporte menor de establecimientos comerciales e industriales. Estos datos son consistentes con los obtenidos en el modelamiento de fuentes realizados por diferentes métodos en el que se muestra que entre el 60% y 70% de las fuentes de contaminación corresponden a las emisiones de vehículos de transporte.

METEOROLOGÍA Y CARACTERIZACIÓN DE CONTAMINANTES

- A pesar de la amplitud de la zona analizada, tal como lo muestran los registros el comportamiento meteorológico en toda el Área Metropolitana de Bucaramanga es relativamente constante. En toda la ciudad se presentan temperaturas cercanas a los 25 °C, bajas velocidades promedio del viento (entre 0.4 m/s y 1.6 m/s) provenientes del Noroeste (NW) – Norte. Las lluvias se presentan a finales de abril y en todo mayo.
- El análisis meteorológico nos indica que las fuentes al Noroeste-Norte de los receptores tendrán mayor impacto que las ubicadas en otras direcciones, ya que hacia este componente se dirigen los vientos en todo el AMBy adicionalmente se espera tener mayor remoción húmeda del material particulado entre abril y mayo de 2010, que son los meses con mayores precipitaciones en el periodo analizado.

IONES-METALES

- Para tener una idea de la fuente de iones (más abundantes que los metales) en el AMB la literatura²² ha establecido que además de los motores de vehículos (causantes entre 1% al 10% de cloruros, nitratos, sulfatos y amonios), otras fuentes apreciables de sulfatos son la combustión de aceites (pueden aportar más del 10% de esta sustancia) y las calderas a carbón (hasta un 10%), por otro lado, las calderas que usan aceites (ACPM, usados, etc.) además de sulfatos, aportan amonios. Los incineradores son otra fuente importante de nitratos. Como es de esperar el polvo suspendido, las construcciones y el suelo natural pueden aportar más del 10% del sílice. Por último las quemaduras de material vegetal puede aportar hasta un 1% de nitratos y sulfatos. Todas las fuentes anteriores son fuentes que pertenecen a la realidad del AMB.
- En términos generales los cloruros (entre 14% y 27%) y sulfatos (entre 21% y 43%) son los iones más abundantes en las muestras recolectadas. El sílice (exceptuando Ricaurte, se encuentra entre 16% y 50%) y el calcio (exceptuando Cañaveral, se encuentra entre 8% y 13%) son las especies más abundantes que no son iones. El plomo (entre 0.02% y 0.30%) y el zinc (entre 0.16% y 0.67%) son las especies con menores aportes entre los Iones-Metales analizados en el estudio. Los valores promedios para los iones y metales evaluados en el AMB, se pueden ver en la Tabla 8.
- En la estación ubicada en el barrio San Miguel en el centro de Bucaramanga, se presentaron valores atípicos el 20 y 31 de diciembre de 2009 (valores entre 6 y 40 veces el promedio de la AMB²³), posiblemente por el aumento en el uso de pólvora en dichas fechas. A finales de abril y comienzos de mayo se nota una disminución (los cloruros, sulfatos y nitratos disminuyen aproximadamente 4.5 veces respecto al promedio de la época seca) de todas las especies a excepción del sílice presenta un pico al final de mayo (5 veces el promedio AMB) a pesar de que el día en cuestión (19 mayo) no presenta velocidades del viento (1.4 m/s) mayores al promedio de la estación meteorológica ubicada en el Centro (1.5 m/s). Exceptuando estos eventos extremos la mayoría de las muestras presentan valores menores a los 10 µg/m³ (10% nueva²⁴ norma 24 horas PM10)
- En la estación ubicada en el barrio La Joya en el oeste de Bucaramanga, se presentó un pico el 10 de enero de 2010 (valores entre 5 y 10 veces el promedio de la AMB) y para la época de lluvias se presentó una disminución (los cloruros, sulfatos y nitratos disminuyen entre 3 y 7 veces respecto al promedio de la época seca) en los niveles

²²Ambient Particulate Matter Characterization Guidelines. Canadian Chemical Producers' Association, 2001.

²³Promedio de todas las muestras de la especie en cuestión obtenidas en el Área Metropolitana de Bucaramanga

²⁴Resolución 610 de 2010 MAVDT. La Tabla 1, establece la norma de 24 horas en 100 µg/m³.

registrados en todas las especies analizadas (nuevamente exceptuando sílice). En La Joya, exceptuando los eventos extremos, las concentraciones registradas se encuentran por debajo de los $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (4% nueva norma 24 horas PM10).

- Al igual que en La Joya, en la estación ubicada en el barrio Ricaurte (centro de Bucaramanga) presentó un pico el 10 de enero de 2010 (valores cercanos a 2.3 veces el promedio de la AMB), por lo que es probable que un evento particular²⁵ haya afectado las muestras de ese día. Aunque el 13 de enero de 2010, se presentan picos (2.3 a 5 veces el promedio de la AMB) en los metales registrados dicho día (a excepción del plomo). Si consideramos estos valores como valores inusuales, las especies en Ricaurte se encuentran por debajo de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (2% nueva norma 24 horas PM10).
- En la estación ubicada en el barrio Cañaveral al sur de Bucaramanga, se presentan unos picos de iones (en especial los sulfatos, con valores 7 veces el promedio de la AMB) el 2 de marzo de 2010. A partir de mediados de abril y a comienzos de mayo tienden a disminuir todas las especies (los cloruros, sulfatos y nitratos disminuyen entre 3.7 y 21 veces respecto al promedio de la época seca), nuevamente exceptuando el sílice. En Cañaveral las concentraciones de las especies analizadas se encuentran por debajo de los $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (5% nueva norma 24 horas PM10).
- Al comparar los resultados de iones y metales obtenidos en cada una de las zonas, se puede observar que los cloruros y sulfatos representan la mayor estos (entre 38% y 66%). El sílice es la especie que presenta mayor variabilidad entre las diferentes zonas (entre 0.01% y 50%). Las composiciones encontradas en San Miguel y La Joya son similares (predominan los cloruros, sulfatos y el sílice), mientras que en Ricaurte predomina los sulfatos (43%) y en Cañaveral el sílice (50%). Es de notar que a pesar de que las estaciones San Miguel y Cañaveral se encuentran al lado de vías principales (Carrera 15 y Autopista a Piedecuesta) no presentan proporciones de iones-metales similares. En la época de lluvias (abril y mayo) los iones y metales tienden a disminuir en las diferentes zonas, siendo los cloruros y sulfatos los más afectados, mientras que el sílice presenta el comportamiento contrario.
- Comparando los valores de iones encontrados en este estudio con los obtenidos en el estudio de la UniSalle en el 2007 (se tomaron muestras en La Joya y el Centro), se encuentran valores similares de amonio y nitrato, mientras que para los sulfatos los resultados encontrados son 14 veces los del 2007 (el valor de sulfato hallado en este

²⁵ Aunque las condiciones meteorológicas del día en cuestión no presentan velocidades del viento por encima del promedio de la estación Centro, probablemente los aumentos apreciables de calcio (Ca) y hierro (Fe) (5 y 3.7 veces el promedio) se deba al transporte de corteza terrestre por erosión eólica al receptor.

estudio solo representa un 5.5% del valor de la norma 24 h para PM10). Por el contrario los valores de metales son similares a los encontrados en años anteriores en Bucaramanga y menores a los del estudio del 2007 en el AMB (el calcio es la mitad y el plomo 31 veces menor) y en el estudio del 2007 de la UniAndes en Bogotá (el aluminio es 10 veces menor y el plomo 8).

HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (PAHs)

- Los cinco PAHs con valores más altos son Indeno[1,2,3-cd]pireno, Benzo[g,h,i]perileno, Benzo[b]fluoranteno, Benzo[a]pireno y Fenantreno, según SPECIATE de la U.S. EPA estos componentes provienen principalmente de quemas, humo de cigarrillo, restaurantes y asaderos, motores diesel, motores a gasolina y cocinas residenciales que utilizan leña. Analizando el contexto de las zonas analizadas se espera que los principales aportantes sean los motores de los vehículos y los restaurantes y asaderos.
- En todas las muestras de PAHs, se nota gran influencia de las lluvias en los valores registrados a partir de las primeras semanas de abril, ya que la mayoría de los PAHs disminuyen en dicha época (entre 3 y 30 veces respecto al promedio de época seca). El Indeno[1,2,3-cd]pireno, el Benzo[g,h,i]perileno y el Benzo[b]fluoranteno parecen ser los únicos PAHs menor o poco influenciados por las lluvias.
- Al comparar los niveles de PAHs encontrados en este estudio con los obtenidos en el estudio de la UniSalle en el 2007, se evidencian valores mucho menores (dos órdenes de magnitud menor). Se debe tener presente que en el 2007 se presentaron concentraciones de PAHs mayores a 100 ng/m³, teniendo como referencia que La Agencia de Protección Ambiental de California considera riesgoso inhalar 1.1 ng/m³ de Benzo(a)pireno²⁶ (BAPY), la Agencia de Protección Ambiental de Irlanda espera implementar en el 2012 la norma anual²⁷ para BAPY en 1 ng/m³ y el Reino Unido espera alcanzar una norma anual²⁸ para BAPY de 0.25 ng/m³ es claro que los valores reportados en el 2007 son bastante altos contra los valores de referencia (100 veces más que el valor recomendado).

CARBÓN NEGRO (BC)

- Es interesante notar que el equipo etalómetro puede servir como alternativa para medir los niveles de EC (equivalente a BC). El equipo presentó el comportamiento esperado, mayores valores a los horas pico de tráfico vehicular. Los máximos valores

²⁶ <http://www.epa.gov/ttnatw01/hlthef/polycycl.html>

²⁷ <http://www.epa.ie/whatwedo/monitoring/air/standards/>

²⁸ http://www.airquality.co.uk/monitoring_networks.php?n=tomps

registrados de BCno superan los 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. (10% nueva norma 24 horas PM10). El valor promedio de BC para entre el 22 de enero y el 31 de mayo de 2010 es de 5.27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ lo cual representa un 9% del promedio para PM10 en el mismo periodo en la estación Centro.

COMPARACIONES ENTRE ZONAS Y ESTACIONALES

- A lo largo del estudio se ha podido apreciar que a pesar que en Bucaramanga se presentan condiciones meteorológicas y las estaciones se ubicaron en zonas afectadas por fuentes similares (principalmente tránsito vehicular) los resultados obtenidos para una misma especie pueden variar apreciablemente entre zona y zona e inclusive presentar un comportamiento diferente debido a la época en que se toma la muestra (época seca o con lluvias) por lo tanto toda comparación realizada entre diferentes zonas y/o ciudades y diferentes periodos de tomarse de modo indicativo.

MODELOS DE RECEPTOR FUENTE

- La modelación receptor fuente debe entenderse como una aproximación a las posibles fuentes que predominan en una zona. Más que un enfoque único y absoluto, debe verse como una herramienta que debe complementarse con inventarios de emisiones de las zonas evaluadas, análisis meteorológicos, mediciones de la calidad del aire e inclusive con la modelación de la dispersión de contaminantes²⁹.
- Los resultados de PMF, revisando las características de las zonas evaluadas y los perfiles generados se puede atribuir la influencia así: vehículos automotores= 61.9%, fuentes geológicas= 20.1% y otras fuentes= 18%. Otras fuentes engloban todas las fuentes que no se ven representadas adecuadamente por lo componentes típicos del transporte vehicular y los de origen geológico.
- Los resultados de UNMIX se pueden asignar así: vehículos automotores= 54%, fuentes geológicas= 32% y otras fuentes= 14%.
- Como pudo observarse en los resultados obtenidos, los porcentajes obtenidos con ambos modelos son esencialmente los mismos y se pueden considerar estadísticamente equivalentes. Los resultados concuerdan con lo que esperado en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

²⁹ Recomendado en: <http://www.epa.gov/ttn/scram/receptorindex.htm> y en el Multivariate Receptor Modeling Workbook (Versión 2005), pág. 39.

RELACION ENTRE CONCENTRACIONES INTRA Y EXTRADOMICILIARIAS DE PM₁₀

- El mejor acuerdo entre niveles de PM₁₀ intra y extradomiciliario se obtuvo en la zona de baja contaminación (La Joya) y el menor acuerdo en la zona media de contaminación (Cabecera y Molinos), lo que quiere decir que las concentraciones de PM₁₀ en exteriores son mejores predictores de concentraciones intradomiciliarias en zonas de baja concentración.
- En la zona centro (alta) y La Joya (baja) la contaminación intradomiciliaria es mayor a la registrada en el exterior, mientras que en Molinos (media) se obtuvo el patrón contrario. Este resultado puede ser explicado por el tipo de actividades micro-empresariales que se desarrollan en el intradomicilio en el centro y La Joya, y que en ambientes intramurales la dispersión de los contaminantes es mínima, lo que aumenta su concentración.
- En todos los puntos de monitoreo tanto las mediciones intra como extradomiciliarias tuvieron un punto máximo durante el periodo más seco, específicamente en el mes de enero (en el que por ejemplo el punto de Molinos alcanzó un índice de calidad del aire IBUCA de 8,12) y un decremento (proporcional en las dos mediciones) que coincidió con el inicio de periodo de lluvias (en el ejemplo de Molinos en abril el IBUCA bajó a 5,31)..

ANALISIS E EFECTOS DE LA CONCENTRACION DE PM₁₀ SOBRE POBLACION SENSIBLE

- Se encontró una relación positiva entre la incidencia de síntomas respiratorios y la exposición a niveles altos de contaminación externa en población con enfermedad respiratorio o cardiovascular crónica. De esta manera vivir en una zona con concentraciones de PM₁₀ superiores a 60ug/m³ determina un riesgo de alrededor de 70% más probabilidad de desarrollar síntomas respiratorios en poblaciones previamente enfermas.
- Los resultados además confirman que en esta población sensible es también muy importante el efecto de algunas condiciones personales, como el tipo de enfermedad crónica, y del entorno como la presencia de contaminantes biológicos (hongos) en el interior de las viviendas.
- Se encontró mayor sintomatología respiratoria en las personas con enfermedad crónica que residen en áreas con promedios diario de PM₁₀ superior a 60ug/m³ por lo cual este punto podría considerarse como nivel umbral de efectos negativos para la

salud respiratoria en población sensible en Bucaramanga.

De forma complementaria a este informe final y como documento para la consulta de los resultados del presente estudio por parte de la comunidad científica, se anexa un artículo original para ser publicado en una revista internacional (Anexo 12).

En el mismo sentido se anexa (Anexo 13) informe detallado por separado de la caracterización físico-química de los contaminantes, correspondiente al objetivo 2.

LISTADO DE ANEXOS

- Anexo 1. Formato de campo para conteo de vehículos
- Anexo 2. Sitos de monitoreo y sentidos de la observación
- Anexo 3. Formato de campo para conteo de empresas o establecimientos comerciales
- Anexo 4. Resultados del análisis físico-químico de filtros y modelos receptor – fuente construidos
- Anexo 5. Operación e Instalación de Equipos de Calidad del Aire, ventajas y desventajas
- Anexo 6: Procedimiento utilizado para la Toma de muestra de MP en equipos LowVol (omni y microvol) de propiedad del MAVDT
- Anexo 7: Hojas de Registro de campo y de laboratorio
- Anexo 8: Hojas de vida de equipos de monitoreo de calidad del aire
- Anexo 9. Formato y Bases de datos de encuesta basal a población sensible
- Anexo 10. Calendario y Base de datos de seguimiento de síntomas diarios de población participante
- Anexo 11. Informe financiero con soportes contables
- Anexo 12. Artículo científico para publicación en revista externa
- Anexo 13. Informe completo de caracterización físico-química de los contaminantes