

DETERMINACIÓN DE LAS PRINCIPALES FUENTES DE MATERIAL
PARTICULADO PM2.5 EN UNA ZONA DE ALTO TRÁFICO VEHICULAR
EN BUCARAMANGA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MODELOS DE
RECEPTORES

LAURA BARRERA PALOMINO

JENNIFER CHÁVEZ OSORIO

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BUCARAMANGA

2016

DETERMINACIÓN DE LAS PRINCIPALES FUENTES DE MATERIAL
PARTICULADO PM2.5 EN UNA ZONA DE ALTO TRÁFICO VEHICULAR EN
BUCARAMANGA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MODELOS DE
RECEPTORES

LAURA BARRERA PALOMINO

JENNIFER CHÁVEZ OSORIO

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL

DIRECTOR

KENTO TARO MAGARA GÓMEZ, PHD

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BUCARAMANGA

2016

NOTA DE ACEPTACIÓN

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

Bucaramanga, Enero 21 de 2016

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a cada una de las personas que de una u otra forma pusieron de su parte para que este trabajo pudiera realizarse.

A Kento que más que un director ha sido un amigo y un apoyo en todo este proceso, que nos ha impulsado a ser mejores cada día y a entregar el mejor resultado posible.

A todo el equipo que integra la investigación “Efecto de la exposición extra- e intra-domiciliaria a contaminación por material particulado con diámetros aerodinámicos menores de 2.5 micras en los niveles de presión arterial de 24 horas y de aterosclerosis subclínica en población adulta residente en Bucaramanga”. Gracias por permitirnos hacer parte de este proyecto y contribuir a su trabajo el cual sabemos obtendrá excelentes resultados.

A la Universidad Pontificia Bolivariana por el camino recorrido a lo largo de estos años, en el que nos han brindado las herramientas necesarias para lograr este objetivo.

Finalmente a todas aquellas personas que nos han acompañado a lo largo de nuestra carrera profesional, sin ustedes no estaríamos donde estamos ahora, gracias.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	11
1 OBJETIVOS	13
1.1 Objetivo General.....	13
1.2 Objetivos específicos.....	13
2 ANTECEDENTES.....	14
3 MARCO TEORICO	16
3.1 Efectos sobre salud y ambiente de la exposición a material particulado PM2.5.	16
3.2 Caracterización fisicoquímica del PM.25	17
3.3 Técnicas analíticas utilizadas para la caracterización fisicoquímica del material particulado	19
3.4 Modelos de receptores	20
3.4.1 PMF (EPA Positive Matrix Factorization Model).....	20
3.4.2 UNMIX.....	23
3.4.3 CMB	26
3.5 Fuentes de emisión de material particulado.....	28
3.6 Revisión del estado del arte.....	30
4 METODOLOGÍA.....	35
5 RESULTADOS	43
6 CONCLUSIONES.....	72
7 RECOMENDACIONES.....	74
BIBLIOGRAFÍA.....	75
ANEXOS	83

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ejemplo de resultados obtenidos aplicando el modelo PMF para especies orgánicas en muestras de PM2.5	22
Ilustración 2. Ejemplo de resultados de contribución total de fuentes al PM2.5 en una zona específica aplicando PMF	23
Ilustración 3. Resultados de distribución de especies químicas específicas en diferentes muestras de PM 2.5 aplicando UNMIX.....	24
Ilustración 4. Ejemplo de contribución mensual de diferentes fuentes al PM2.5 en un sitio específico aplicando UNMIX	25
Ilustración 5. Ejemplo de resultados de contribuciones de fuentes específicas al PM10 en un sitio de muestreo en Chile	27
Ilustración 6. Ubicación del punto de muestreo	36
Ilustración 7. Punto de muestreo: Intersección de la calle 50 con carrera 15, Bucaramanga, Santander	44
Ilustración 8. Vía principal ubicada frente al punto de muestreo	44
Ilustración 9. Equipo de muestreo	45
Ilustración 10. Rosa de los vientos, A partir de Estación meteorológica "CENTRO" de la CDMB.....	63

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Composición porcentual promedio del PM2.5.....	53
Gráfica 2. Composición total del PM2.5 por muestra	54
Gráfica 3. Composición del PM2.5 por muestra incluyendo solo las especies analizadas.....	55
Gráfica 4. Comparación entre las concentraciones de BC y TOC en las muestras.....	56
Gráfica 5. Comparación en las concentraciones de metales y no metales en las muestras de PM2.5.	57
Gráfica 6. Concentraciones de elementos en trazas solubles en agua más abundantes en las muestras de PM2.5.....	58
Gráfica 7. Concentraciones de elementos en trazas menos abundantes en las muestras de PM2.5.	59
Gráfica 8. Comparación de las concentraciones de aniones y cationes en las muestras de PM2.5.....	60
Gráfica 9 Concentración de especies iónicas por muestra	61
Gráfica 10. Relación de la velocidad del viento con la concentración de PM2.5 durante el periodo de muestreo.....	62
Gráfica 11. Relación de la humedad relativa con la concentración de PM2.5 durante el periodo de muestreo.....	63
Gráfica 12. Relación de la precipitación con la concentración de PM2.5 durante el periodo de muestreo.	64
Gráfica 13. Promedio diario de vehículos por tipo de motor	65
Gráfica 14. Distribución promedio de vehículos por tipo de motor.	65
Gráfica 15. Contribución porcentual de las diferentes de fuentes de emisión por muestra compuesta de PM2.5.....	68
Gráfica 16. Contribución promedio de las diferentes fuentes al PM2.5 recolectado durante todo el periodo de muestreo.....	69

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Fuentes fijas cercanas al muestreador.	37
Tabla 2. Resultados del conteo de fuentes móviles.	46
Tabla 3. Análisis fisicoquímico de muestras	47
Tabla 4. Condiciones meteorológicas en el punto de muestreo.....	61
Tabla 5. Bibliografía relacionada	71

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: Determinación de las principales fuentes de material particulado PM2.5 en una zona de alto tráfico vehicular en Bucaramanga mediante la aplicación de modelos de receptores

AUTOR(ES): Laura Barrera Palomino
Jennifer Chávez Osorio

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR(A): Kento Taro Magara Gómez

RESUMEN

Con el fin de identificar las fuentes de contaminación por PM2.5 en una zona de alto tráfico vehicular en la ciudad de Bucaramanga se realizó un análisis de la composición del material particulado fino mediante el uso del modelo de receptores Chemical Mass Balance (CMB), de acceso libre. Con este fin se realizaron monitoreos extra-domiciliarios durante cinco meses en una zona de alto tráfico vehicular de la ciudad. Adicionalmente se hizo una revisión de las variables meteorológicas, eventos extraordinarios y otras posibles actividades que pudieron influenciar las concentraciones de PM2.5 durante el periodo de muestreo. Se determinó que las especies químicas predominantes en el PM2.5 en la zona de estudio son carbono elemental (medido como BC), carbono orgánico (OC), iones sulfato, amonio y nitrato, y los elementos azufre (S), hierro (Fe) y potasio (K). Los resultados de la aplicación del modelo CMB mostraron como principales fuentes de emisión de PM2.5 a las fuentes móviles con un aporte de más del 34%, repartidos en un 22% para vehículos con motor diésel, y un 12% para vehículos con motor a gasolina; seguidos por el polvo de construcción con un aporte del 21%, las emisiones de cocinas a base de carbón con el 11%, y las pinturas en aerosol con el 11%. Con base en estos resultados, se considera importante establecer políticas y estrategias conducentes a minimizar el flujo vehicular en la zona y disminuir las emisiones de PM2.5 de los motores.

PALABRAS CLAVES:

Modelo de receptor, material particulado fino, fuentes de emisión.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: Source apportionment of PM_{2.5} in a heavy traffic area in Bucaramanga using open access receptor models

AUTHOR(S): Laura Barrera Palomino
Jennifer Chávez Osorio

FACULTY: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR: Kento Taro Magara Gómez

ABSTRACT

The Chemical Mass Balance (CMB) source apportionment model was applied in order to identify the sources contributing to PM_{2.5} concentrations in an area with heavy traffic in the city of Bucaramanga. PM samples were obtained from outdoor samplers during five months, together with meteorological data, and extraordinary events that could have influenced PM concentrations. Chemical analyses showed that black carbon, organic carbon, sulfate, ammonium and nitrate ions, and water-soluble trace elements sulfur, iron and potassium were predominant in PM samples. Source apportionment results showed mobile sources as main contributors to PM_{2.5} concentrations with 34%, divided between vehicles with compression-ignition engines (22%) and vehicles with spark-ignition engines (12%), followed by construction dust with 21% contribution, coal based stoves with 11% and spray painting with 11%. Based on these results, it is important to establish new environmental policy leading to reductions in vehicle flow around the studied area and minimizing PM_{2.5} engine emissions.

KEYWORDS:

Receptor models, fine particulate matter, source apportionment.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

El incremento gradual del parque automotor en la ciudad de Bucaramanga en los últimos años, así como el crecimiento de diferentes sectores industriales, se han convertido en fuentes de contaminación constante, generando emisiones considerables de material particulado en la ciudad.

Altas concentraciones de material particulado pueden resultar en altas probabilidades de riesgo para la salud de los habitantes. Se considera que la exposición a PM10 puede causar enfermedades de índole pulmonar, mientras que la exposición a PM2.5 puede producir efectos en la salud más severos, debido a que puede introducirse hasta el torrente sanguíneo por los alvéolos pulmonares, y de ahí a cualquier órgano (EPA 2015a).

Al ser partículas provenientes en su mayoría de residuos de la combustión y emisiones de transporte vehicular, el PM2.5 puede contener altos porcentajes de nitratos, sulfatos, químicos orgánicos, metales, tierra o polvo y alergénicos naturales (EPA 2015b). La composición química del material particulado depende de su localización, entorno y clima.

La caracterización del PM2.5 se debe realizar en diferentes etapas, entre ellas: la cuantificación de la masa que permite establecer volúmenes de emisión y niveles de concentración, la caracterización de la distribución de las partículas para un análisis detallado según el tamaño de las mismas y el análisis fisicoquímico de las fracciones de material (Sbarato & Sbarato 2009).

El análisis fisicoquímico de las muestras se requiere para aplicar modelos de receptores, herramientas que se utilizan para identificar tipos de fuentes de emisión de estos contaminantes, por medio de aproximaciones matemáticas que cuantifican un número determinado de muestras según su composición fisicoquímica; esto a través de un balance de masa químico entre las concentraciones de las especies medidas y los perfiles de origen de cada especie (EPA 2015c).

Estos modelos proporcionan estimaciones cuantitativas que permiten identificar la presencia de fuentes de emisión y sus contribuciones en el sitio de muestreo (EPA 2013a). Implementar este tipo de herramienta se hace con el fin de mejorar la gestión de las autoridades ambientales; además, proporciona la capacidad de

realizar análisis fuente-receptor, que permiten generar estrategias y/o medidas de control que busquen incrementar el alcance de la normativa vigente y hagan más estrictos los límites permisibles de concentración y tiempos de exposición a un contaminante específico.

En este caso de estudio se plantea el uso de un modelo de receptores que permita la identificación de las fuentes de emisión de PM2.5 en muestras ambientales correspondientes a seis meses de muestreo continuo en una zona de alto tráfico vehicular en la ciudad de Bucaramanga. El PM2.5 se caracterizó fisicoquímicamente de acuerdo a los parámetros: Carbono orgánico total (TOC), Black Carbón (BC), especies iónicas (aniones y cationes), y metales totales. De acuerdo a estos parámetros, y al número de muestras, se seleccionó el modelo de receptores que mejor se adaptó, y se aplicó con el fin de identificar las principales fuentes de PM2.5 que tienen influencia sobre la zona de estudio.

Los resultados de este estudio pretenden proporcionar información para iniciar una base de datos acerca de las fuentes de emisión de PM2.5 en Bucaramanga, material que podría tener efectos negativos en la salud de la población. Este análisis hace parte de un proyecto de investigación de mayor alcance titulado “Efecto de la exposición extra- e intra-domiciliaria a contaminación por material particulado con diámetros aerodinámicos menores de 2.5 micras en los niveles de presión arterial de 24 horas y de aterosclerosis subclínica en población adulta residente en Bucaramanga”, financiado por Colciencias según la convocatoria 569 de 2012 para formar un banco de proyectos de ciencia y tecnología. Este proyecto es liderado por la Universidad Autónoma de Bucaramanga con el Dr. Víctor Mauricio Herrera Galindo como investigador principal, y tiene como co-investigador al Dr. Kento Taro Magara Gómez de la Universidad Pontificia Bolivariana; el código del proyecto es 124156934459.

1 OBJETIVOS

1.1 Objetivo General

- Determinar las principales fuentes de material particulado PM2.5 en una zona de alto tráfico vehicular en Bucaramanga mediante la aplicación de modelos de receptores.

1.2 Objetivos específicos

- Determinar la composición fisicoquímica del material particulado PM2.5 generado en una zona de alto tráfico vehicular en Bucaramanga durante 6 meses.
- Evaluar los modelos de receptores más adecuados de acuerdo a los parámetros de caracterización y al número de muestras disponibles.
- Analizar la variación temporal de la composición del PM2.5 en una zona de alto tráfico vehicular en Bucaramanga.
- Cuantificar el aporte de las fuentes de material particulado PM2.5 en las zonas de influencia al punto de muestreo por medio de la aplicación de los modelos de receptores seleccionados.

2 ANTECEDENTES

Los modelos de receptores son herramientas matemáticas y/o estadísticas utilizadas para identificar las fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos en sitios puntuales. Este tipo de modelos utilizan las características físicas y químicas de las muestras de contaminante a partir de sus concentraciones para cuantificar su composición y relacionarlo con la fuente de emisión del mismo (EPA 2013b). A diferencia de otros modelos aplicados en estudios de calidad de aire, estos no necesitan de información meteorológica o mecanismos de transformación química para determinar la contribución porcentual que cada fuente aporta a la concentración de contaminantes.

El uso de un modelo de receptores no solo cuantifica el aporte de cada fuente a la emisión de contaminantes sino que permite establecer la responsabilidad de emisión de cada una, lo que puede llevar a correlacionar dichas fuentes con las afectaciones que los contaminantes producen sobre la salud humana, y seguido a esto permite establecer planes de control para los procesos generadores de dichas emisiones por medio de la implementación de evaluaciones de impacto y planes de gestión ambiental (Rojas 2008).

En la ciudad de Bucaramanga se han realizado estudios de calidad de aire aplicando modelos de receptores, tales como: *“Caracterización de la contaminación atmosférica de la ciudad y sus efectos, principalmente sobre la salud respiratoria en diferentes poblaciones”* (Rodríguez Villamizar et al. 2010). Este análisis condujo a la identificación de las principales fuentes de emisión de PM₁₀, como vehículos automotores, fuentes geológicas y otras, lo que permitió hacer recomendaciones generales para el manejo de las condiciones de la calidad de aire en Bucaramanga y proponer una revisión a las normativas de *estándares de calidad del aire* (Resolución 610 de 2010) y *valores máximos de emisión de fuentes móviles y fuentes fijas* (Resolución 909 y 910 de 2008); esto en cuanto a los valores máximos diarios de emisión de PM₁₀ (150 µg/m³), que superan los umbrales de afectación a la salud humana.

Estudios previos (Instituto Nacional de Ecología 2009) revelan que no solo el PM₁₀ tiene graves impactos en la salud sino que el material particulado PM_{2.5}, por su tamaño, se transporta fácilmente con el viento a grandes distancias, propagándose en el ambiente; su tamaño le permite transportarse en el ambiente hasta entrar al torrente sanguíneo del ser humano. La exposición prolongada a PM_{2.5} se ha

relacionado con el aumento en el riesgo de mortalidad por enfermedades cardiovasculares y respiratorias.

La relación directa entre el aumento de las enfermedades cardiovasculares y la contaminación por PM2.5 hace primordial realizar estudios y monitoreos de la calidad del aire que establezcan de forma cualitativa un análisis del problema y permitan conocer de dónde se produce la contaminación, cómo se dispersa, cuál es la población más afectada y a qué plazo (largo, mediano o corto) deben ser mitigados sus efectos adversos (Rodríguez Villamizar et al. 2010).

En este orden de ideas, es importante realizar la caracterización del PM2.5 en Bucaramanga e identificar las fuentes que emiten este contaminante, para establecer un punto de partida en el análisis de los parámetros y límites máximos de exposición diaria establecidos actualmente por la norma de calidad del aire ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y conformar una línea base para realizar reformas al POT, patrones de tráfico y malla vial en la zona de estudio, sin la condicionalidad dictada por la norma: *Las autoridades ambientales competentes deberán iniciar la medición de PM2.5, cuando se presente incumplimiento de alguno de los niveles máximos permisibles de PM10. Sin perjuicio de lo anterior, las autoridades ambientales pueden medir PM2.5, de acuerdo con lo establecido en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial 2010).*

3 MARCO TEORICO

3.1 Efectos sobre salud y ambiente de la exposición a material particulado PM2.5

En los últimos años la humanidad ha aumentado de forma exponencial, logrando desde el año 2007 que la población urbana supere a la población rural. Este crecimiento ha contribuido a la formación de 23 ciudades (Megaciudades) en el mundo con una población de 10 millones de personas o más, la mayoría de éstas situadas en países de escasos recursos económicos, y caracterizadas por niveles de contaminación de aire muy elevados (Baklanov et al. 2016a).

La contaminación atmosférica registrada en estas megaciudades no es algo nuevo; se relaciona en menor medida con eventos naturales y en mayor con actividades antropogénicas. Esto se convirtió en preocupación cuando en 2014, el reporte de la Organización Mundial de la Salud (OMS), le atribuyó 4.3 millones de muertes a la contaminación del aire intradomiciliaria en 2012, mientras que 3.7 millones de muertes fueron atribuidas a la contaminación atmosférica en exteriores, en el mismo año, cerca del 88% de estos fallecimientos países en vías de desarrollo, que representan el 82% de la población mundial (WHO 2014).

Existen algunas limitaciones en la estimación del porcentaje de la población expuesta a la contaminación atmosférica extra e intra domiciliaria, ya que estas no interactúan directamente durante las actividades diarias de cada persona. A pesar de esto, la contaminación intra domiciliaria se relaciona en mayor medida con procesos de quemados de biomasa, queroseno o carbón para cocina o calefacción en zonas rurales, mientras que la contaminación extra domiciliaria se presenta como un problema urbano, que afecta poblaciones que viven en o alrededor de grandes ciudades, donde predominan contaminantes como el material fino (PM2.5), generalmente emitido por fuentes como vehículos con motores diésel y plantas termoeléctricas (WMO & IGAC 2012).

Según la OMS, en 2014 se confirmó que la contaminación atmosférica es el mayor riesgo ambiental para la salud pública en la actualidad. Particularmente, los análisis realizados por esta organización revelan una fuerte relación entre la contaminación del aire con las enfermedades cardiovasculares y cáncer, además del papel que siempre ha tenido en el desarrollo de enfermedades respiratorias (WHO 2014).

Como un ejemplo reciente, puede considerarse la rápida fase de industrialización y la transformación económica de China, que se ha visto acompañada por un aumento

exuberante de la contaminación atmosférica en Beijing y otras grandes ciudades de ese país. Se ha estimado que este tipo de contaminación ha causado entre 350.000 a 500.000 muertes prematuras en China cada año (Baklanov et al. 2016b).

Es vital tener en cuenta que la contaminación atmosférica es preocupante en países industrializados, en los cuales ya se están tomando medidas para contenerla y mitigarla; pero en aquellos países que se encuentran en vías de desarrollo como Colombia aún no se tienen en cuenta sus efectos a corto y largo plazo por lo que las acciones y normas emprendidas no son suficientes. Si en vez de llegar a crisis ambientales se realizan campañas de prevención y control sobre las principales fuentes de emisión de los contaminantes más dañinos para la salud y el ambiente, además del uso de alternativas amigables con el ambiente, es posible lograr una disminución considerable en la actual emisión desmesurada de contaminantes a la atmósfera.

3.2 Caracterización fisicoquímica del PM.25

El PM2.5 es uno de los principales contaminantes de las zonas urbanas e industriales, que puede hacer un aporte importante al cambio climático, además, también puede causar graves problemas de salud asociados con enfermedades de tipo cardiovascular y de tipo respiratorio. Este contaminante está compuesto principalmente por carbono orgánico y carbono elemental o también llamado Black Carbon, además de una diversidad de especies iónicas, metales, no metales y otros elementos (Lee et al. 2012).

Los metales están presentes generalmente en los aerosoles emitidos a la atmósfera, representando problemas sobre la salud humana debido a que elementos traza tales como zinc (Zn), arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), plomo (Pb) y (Ni), han sido identificados como cancerígenos y altamente tóxicos (von Schneidmesser et al. 2010). Las fuentes de PM2.5 conformadas por metales tóxicos son diversas, entre las que se encuentran el polvo, procesos industriales, emisiones de vehículos y la combustión de compuestos carbonados (Chen et al. 2015).

El carbono elemental (EC), es, como su nombre lo dice, carbono como elemento y proviene principalmente de la combustión incompleta de combustibles fósiles, su formación está directamente relacionada con la composición química del combustible y la cantidad de oxígeno (O₂) disponible, así en un proceso de combustión con ausencia de oxígeno (pirólisis) es mayor su probabilidad de formación (Morales 2006). El EC se emite a la atmósfera como un aerosol primario,

en actividades como: el tráfico, la industria, la calefacción doméstica, la quema de biomasa, entre otros, por lo tanto se considera como un indicador directo de la contaminación urbana (Querol et al. 2007).

El carbono orgánico (OC) proviene de la condensación de diferentes compuestos orgánicos que desencadenan reacciones químicas al ser emitidos en la atmósfera, muchos de los cuales pueden ser cancerígenos, como los hidrocarburos policíclicos aromáticos (HAPs), las dibenzo-p-dioxinas policloradas (PCDD) y los dibenzofuranos (Feng et al. 2009). Entre los compuestos orgánicos presentes en la composición del material particulado pueden encontrarse: alcanos, alquenos, alquinos, ácidos alcanóicos, ácidos dicarboxílicos alifáticos, ácidos policarboxílicos aromáticos, compuestos policíclicos condensados, cetonas aromáticas, endoperóxidos, etc, la mayoría sustancias poco volátiles (Morales 2006).

Dependiendo de su proceso de formación, el carbono orgánico se puede clasificar en carbono orgánico primario (POC) o carbono orgánico secundario (SOC). Las partículas de POC son emitidas directamente de fuentes de emisión (Zhang et al. 2009; Wang et al. 2005) , mientras que las partículas de SOC se forman por reacciones fotoquímicas de compuestos orgánicos volátiles, antropogénicos y biogénicos (COV), iones hidroxilo, entre otros (Fuzzi et al. 2006; Kroll & Seinfeld 2008).

El carbono orgánico y el elemental, son componentes importantes de las partículas emitidas por motores de combustión de gasolina y diésel en vehículos (Stone et al. 2007; Schauer & Cass 2000) Cuando se encuentran simultáneamente en la composición del PM con metales como el molibdeno (Mo), bario (Ba) y cobre (Cu), también son indicativos de la predominancia de fuentes móviles; adicionalmente, la asociación de la presencia de OC y EC con Ba y Cu, indica desgaste de los frenos de los vehículos (Lough et al. 2005).

Las mayoría de las formas de Carbono Orgánico Soluble en agua son compuestos oxigenados orgánicos tales como ácidos carboxílicos, aldehídos, cetonas, alcoholes y peróxidos, emitidos directamente en procesos de combustión, procesos industriales y fuentes naturales (primarios), o a través de procesos secundarios como lo son la oxidación de aerosoles en fase heterogénea (Pathak et al. 2011).

Los principales iones encontrados en el PM_{2.5} se originan a partir de la combustión por la quema de combustibles, estos contienen en su mayoría carboxilatos como el acetato y el oxalato. De igual forma, se ha determinado que los iones sulfato, que provienen de las transformaciones del SO₂ durante la combustión, y los iones nitrato

y los de amonio, formados a partir de compuestos reactivos oxidados de nitrógeno incluyendo NO_x (NO , NO_2), son especies iónicas predominantes en el $\text{PM}_{2.5}$. Estos iones presentes en los aerosoles atmosféricos, pueden afectar directamente la acidez de las precipitaciones y degradar la visibilidad atmosférica, entre otros efectos (Zhang et al. 2015).

La presencia de ciertos componentes del $\text{PM}_{2.5}$, como los mencionados anteriormente, está estrechamente relacionada con incrementos en la morbilidad y mortalidad de la población. Adicionalmente, el $\text{PM}_{2.5}$ tiene un área superficial grande que sirve como sustrato para el transporte de virus, bacterias y metales pesados. Por su tamaño, puede ser inhalado por los humanos a través del sistema respiratorio y absorbido por los alvéolos pulmonares, llegando al torrente sanguíneo por lo que puede generar muerte prematura en personas con problemas cardíacos o pulmonares, ataques al corazón, arritmia cardíaca, asma, aumento de la presión arterial, dificultad para respirar y problemas en la coagulación de la sangre (Chen et al. 2015).

3.3 Técnicas analíticas utilizadas para la caracterización fisicoquímica del material particulado

Debido a la importancia de conocer la composición química del material particulado, y su gran variabilidad de acuerdo a su fuente de origen, se han desarrollado varias técnicas analíticas rápidas que permiten determinar los contenidos de carbono (orgánico, OC y elemental, EC), iones, elementos en trazas solubles en agua, entre otros.

Para el análisis de muestras de material particulado, el material de los filtros es determinante en el tipo de prueba que se le vaya a realizar, por lo que los estudios suelen utilizar equipos de muestreo que recolectan de forma simultánea varias muestras en filtros de diferente material; los principales materiales utilizados con teflón, cuarzo y nylon (IMPROVE 2011).

Para la determinación del contenido de carbono orgánico y elemental generalmente se utilizan las siguientes técnicas: Reflectancia termo óptica (TOR), análisis termo óptico (TOA), y análisis de transmitancia termo óptica (TOTA) (Sunset Laboratory, Corvallis, OR); para determinar el contenido de metales y elementos en trazas: Fluorescencia de rayos X (XRF), análisis por dispersión elástica de protones (PESA) y espectrometría de masas con plasma inducido (ICP-MS) (Pui et al. 2014). El análisis de iones inorgánicos solubles (SO_4^{-2} , NO_3^- y NH_4^+) se realiza normalmente mediante una cromatografía de iones (Hamad et al. 2015).

Estas técnicas y su uso dependen del tipo de análisis que se requiera para el estudio en cuestión y los laboratorios disponibles para realizarlas. Estos estudios han utilizado métodos para mediciones en muestras de material particulado aprobados por la EPA (Liu & Zhang 2015) o por Laboratorios especializados como: Método ACE-Asia (Hamad et al. 2015), Método IO-3.3 (US EPA, 1999), Método de transmisión óptica NIOSH (Villalobos et al. 2015), entre otros. La validez de los resultados de estas pruebas depende de la precisión en la aplicación de los métodos de laboratorio aplicados y en su posterior análisis.

3.4 Modelos de receptores

La identificación y cuantificación de fuentes de material particulado utilizando métodos especializados es fundamental, ya que se utiliza en la creación de políticas y estrategias de control ambiental. Para determinar las fuentes de una muestra de PM es necesario realizarle un análisis gravimétrico y químico adecuado, así con los datos representativos y un modelo de receptores adecuado se pueden determinar las fuentes que aportan a la muestra.

Todos los modelos de receptores utilizan mediciones químicas usualmente de 20 a 40 elementos, iones solubles en agua (Cl^- , NO_3^- representa nitrato, SO_4^{2-} representa sulfato, NH_4^+ representa amonio, Na^+ , K^+ , y Ca^{2+}), y carbono (Orgánico, OC, y Elemental, EC, o black carbon, BC), entre otros. Los elementos pueden ser divididos en dos grupos: Crostal Na, Mg, Al, K, Ca, Fe, and Si) y antropogénicos (S, Zn, Ni, Cu, Mn, Sr, Ag, Ba, Pb, V, Cr, and Ti). El V y Ba son aditivos de combustibles mientras que el Pb, Zn, Ni, y Ba se produce en motores de combustión interna a base de gasolina o diésel. (Pui et al. 2014).

Hay siete modelos de receptores comúnmente utilizados, incluyendo HYSPLIT (Modelo Híbrido Lagrangiano de Trayectoria Integrada de Partícula), Análisis de trayectoria invertida, Factores de enriquecimiento (EF), Análisis de componentes principales (PCA), UNMIX Formato de análisis factorial, Matriz de factorización positiva (PMF), y Balance químico de masas (CMB). Los tres últimos son los más utilizados debido a su facilidad de análisis en comparación con los demás (Pui et al. 2014).

3.4.1 PMF (EPA Positive Matrix Factorization Model)

El Modelo de Factorización de Matriz Positiva de la EPA (PMF, por sus siglas en inglés) es un modelo matemático de receptores desarrollado para apoyar a los investigadores en normas y estándares de calidad de aire y agua, estudios acerca

de la exposición a contaminantes y una gran variedad de análisis de datos relacionados con la calidad del aire en interiores (EPA 2013a).

La metodología PMF se basa en el principio de análisis de factores por medio de un algoritmo de mínimos cuadrados que se encuentra asociado con cortos tiempos de respuesta (Ramadan et al. 2003), el método permite cuantificar los tipos de fuentes de contaminación que aportan concentración de contaminantes a las muestras según las composiciones de las mismas, esto se logra ya que PMF reduce el número de variables en el análisis de datos complejos que pueden interpretarse de cada factor (fuente) y proporciona una estimación de incertidumbre robusta. Al igual que la mayoría de los métodos estadísticos que se utilizan para el proceso de identificación de fuentes, requiere de un elevado número de muestras (típicamente superior a 50 en cada punto de medición).

La principal ventaja atribuida a este método refiere a la inclusión de una restricción de no negatividad para los resultados referentes a las cargas de los elementos para cada uno de los componentes identificados así como para los puntajes factoriales, sin embargo, algunos autores han planteado ciertas implicaciones negativas para la restricción antes mencionada, tales como que las cargas negativas en los factores identificados podrían ser indicadores de interacciones reales e interesantes de evaluar entre las variables de estudio. Al imponer dicha restricción, se pierde la posibilidad de identificar tales interacciones (Chan & Mozurkewich 2007).

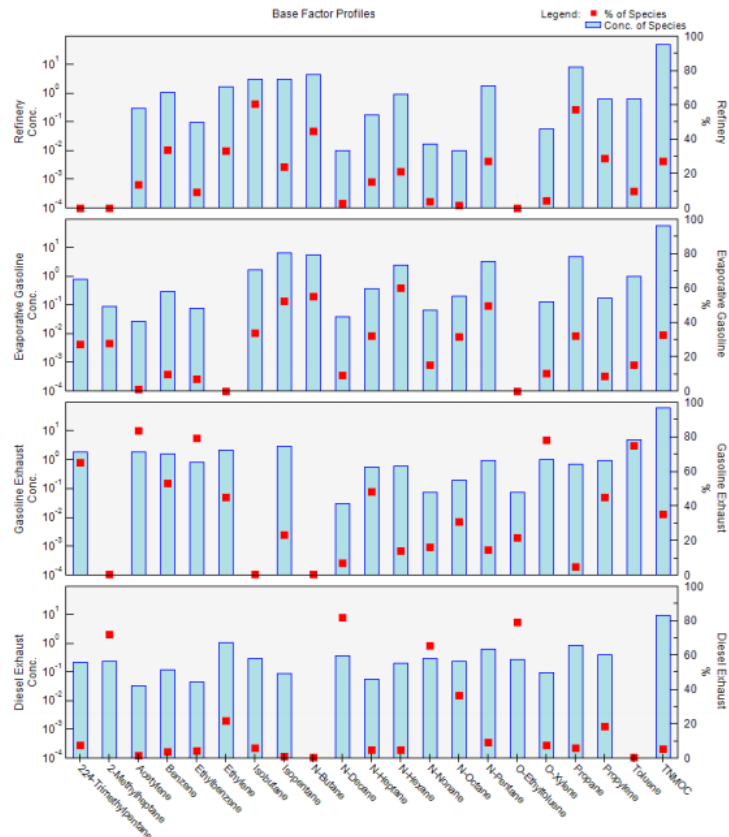
A través de la aplicación de PMF para una Estación de Monitoreo de Aire fotoquímico en Baton Rouge, Louisiana (2007) se analizaron los datos de Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC) a partir de muestras recolectadas entre Junio y Agosto de 2005 y de Junio a Septiembre de 2006, con una totalidad 307 muestras (EPA 2013a).

El modelo PMF necesita de una línea base de datos para correlacionar los resultados de su aplicación y así identificar los perfiles y factores de concentración de los contaminantes encontrados en las muestras, para este análisis los datos base fueron descargados del Sistema de Calidad del Aire de la EPA. El ingreso de datos a PMF se realiza a partir de análisis de las muestras con ciertos parámetros, estos suele incluir: masa, aniones y cationes, EC, OC, WSOC, Black Carbon, metales, entre otros. Con estos datos se corre el modelo para obtener resultados aproximados a una simulación de las fuentes principales del contaminante analizado en este caso, VOC.

En el estudio de Baton, Louisiana los resultados de PMF arrojaron los perfiles y las contribuciones para identificar factores de contaminación, resultados que mediante

un análisis de caracterización de las muestras y del sitio de muestreo contribuyen a cuantificar los aportes de las posibles fuentes de VOC. En la Ilustración 1 se pueden observar los resultados del modelo:

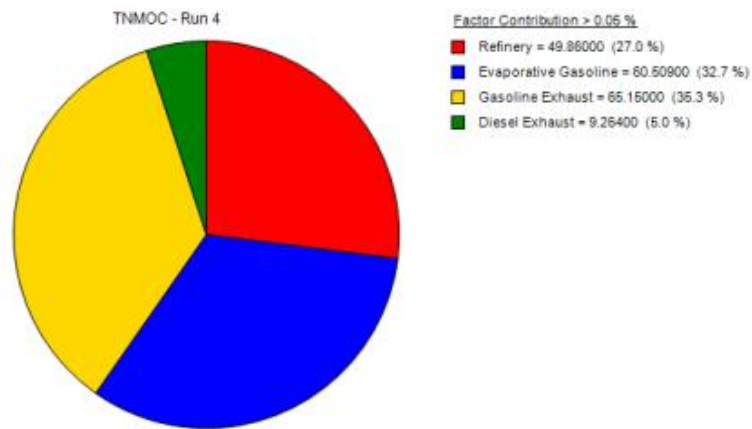
Ilustración 1. Ejemplo de resultados obtenidos aplicando el modelo PMF para especies orgánicas en muestras de PM2.5



Fuente: EPA Positive Matrix Factorization (PMF) 5.0 Fundamentals and Guide Use

A partir de las iteraciones y resultados determinados a través de este análisis con PMF se concluyó que los aportes principales de VOC son por el escape de los vehículos de motor de gasolina, además una contribución importante del componente industrial.

Ilustración 2. Ejemplo de resultados de contribución total de fuentes al PM2.5 en una zona específica aplicando PMF



Fuente: EPA Positive Matrix Factorization (PMF) 5.0 Fundamentals and Guide Use

3.4.2

UNMIX

El modelo UNMIX es una herramienta que “separa” las concentraciones de especies químicas y supone que la emisión de contaminantes de las fuentes es constante durante la totalidad del monitoreo, que los perfiles de las mismas son independientes unos de otros. Es importante tener en cuenta que para aplicar este modelo el número de fuentes debe ser menor o igual al número de especies analizadas (Viana et al. 2008)(Bruinen de Bruin et al. 2006).

El funcionamiento de UNMIX se basa en la formación de un algoritmo SIMPLEX, un conjunto de métodos que busca el mínimo o máximo de una función lineal que satisfaga un conjunto de inecuaciones lineales. A partir de los datos de entrada, UNMIX genera una matriz $m \times n$, donde m corresponde a los perfiles de las fuentes y n a las especies de análisis, con esta información el algoritmo realiza las iteraciones necesarias y arroja las soluciones posibles en cada caso (Henry 2005).

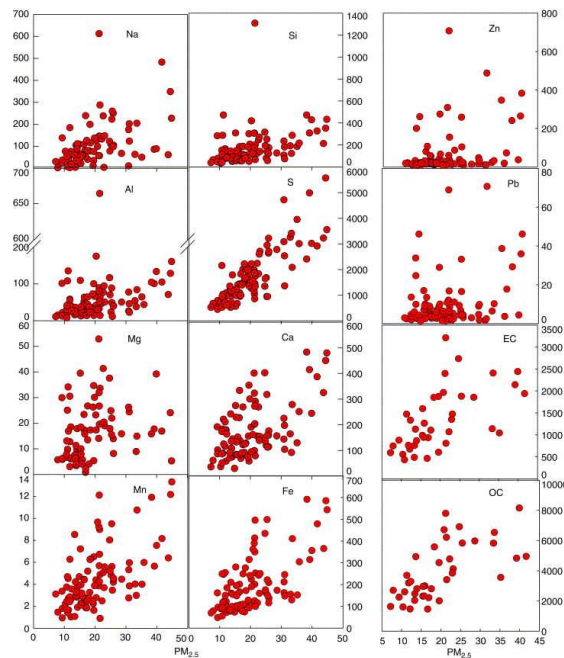
Este modelo no requiere perfiles químicos de las fuentes de emisión; en su lugar usa una base de datos ambientales interna que por medio de una aproximación matemática basada en un análisis factorial que estima el número de fuentes, las composiciones de origen, y las contribuciones de origen a cada muestra (EPA 2013b).

La implementación de este modelo requiere de un gran número de muestras, lo que puede suponer una desventaja en proyectos con poca variedad de muestras o

tiempos cortos de ejecución. Bajo ciertas condiciones los datos analizados no pueden proporcionar una solución única, en este caso UNMIX arroja como resultado un grupo de soluciones que pueden corresponder o no al estudio en cuestión (Henry 2005), si bien algunos podrían juzgar esto como una desventaja, en realidad es un beneficio positivo para el usuario, pocos métodos de modelización permiten al usuario saber claramente cuando una solución fiable no es posible.

En el año 2005 se implementó un estudio de modelación con UNMIX en Cincinnati, USA (EPA 2013b); con el objetivo de determinar el aporte del PM_{2.5} ante las enfermedades de índole respiratoria sobre la población infantil. En primera instancia se adoptaron 2 puntos de muestreo sobre la autopista interestatal (Findlay y LPH). Se aplicó UNMIX sobre un conjunto de datos de 89 días. Para cada uno de los factores se determinó la relación OC/EC y se utilizó para calcular las contribuciones de origen. La ilustración 3 muestra las contribuciones por especies a los niveles de PM_{2.5} en este estudio.

Ilustración 3. Resultados de distribución de especies químicas específicas en diferentes muestras de PM 2.5 aplicando UNMIX



Fuente: EPA Unmix 6.0 Fundamentals & User Guide

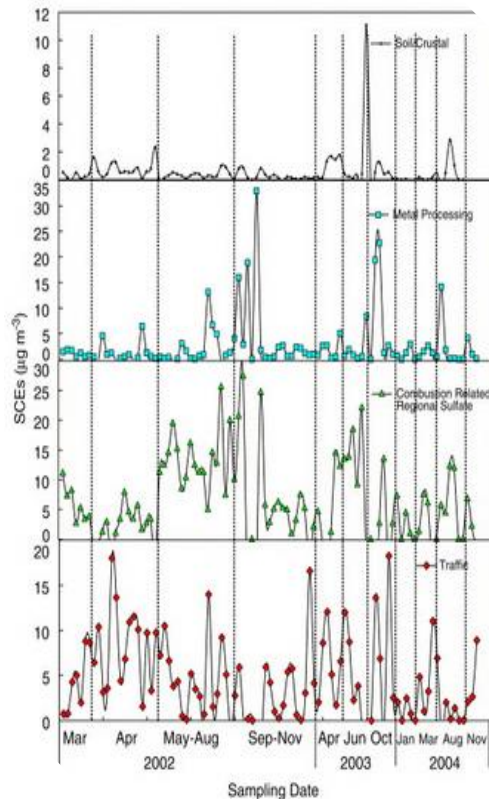
A partir de los factores evaluados se encontró que:

1. Las mayores contribuciones a los niveles de concentración de PM_{2.5} en el ambiente provinieron de fuentes con alta presencia de plomo (Pb) y zinc (Zn).

2. El azufre (S) fue un importante contribuyente a los niveles de concentración y representó el 32% (Findlay) y 46.7% (LPH) del PM2.5.
3. El 3% (Findlay) y 10.6% (LPH) corresponde a los menores contribuyentes a las concentraciones PM2.5, en este caso las especies magnesio (Mg) y potasio (K).

A continuación en la Ilustración 4 se muestran las dos fuentes dominantes en la emisión del PM2.5 en relación con el tiempo en Findlay, atribuidas al tráfico y relacionados con la combustión de sulfato regional. No solo se consideró el análisis espacial de las muestras sino que en este estudio se incluyó el análisis temporal de la contaminación para generar resultados más claros y concretos.

Ilustración 4. Ejemplo de contribución mensual de diferentes fuentes al PM2.5 en un sitio específico aplicando UNMIX



Fuente: EPA Unmix 6.0 Fundamentals & User Guide

UNMIX permitió identificar los factores de PM2.5 caracterizado en ambos puntos de muestreo. Dentro de los factores de origen de la contaminación, se encontró que tanto en Findlay como en LPH el principal aporte de PM2.5 lo realizan los vehículos con motor diésel; estos análisis son la base para la construcción de perfiles de

origen hacia la estimación de las contribuciones de fuentes de tráfico en otros lugares en toda el área de Cincinnati.

3.4.3 CMB

El modelo de receptores Balance Químico de Masa (CMB, por sus siglas en inglés) ha sido implementado por la EPA como herramienta en la formulación de los Planes de Implementación Estatal (SIP), para la organización y distribución poblacional según las fuentes de emisión de contaminantes. La aplicación de CMB es muy eficaz en problemas de contaminación puntuales localizados en pequeñas áreas de muestreo, además es una herramienta útil para el ajuste de los inventarios de emisiones (EPA 2013a).

Es considerado como uno de los mejores modelos para aplicar en estudios de calidad del aire. Usa una variedad de perfiles de fuentes emisoras para cuantificar la contribución de las mismas en la concentración de las muestras especialmente para especies como PM10, PM 2.5 y Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs).

El modelo se basa en una solución lineal de ecuaciones que resulta de la suma de las contribuciones de las fuentes a la concentración de la muestra, aplicando la teoría de mínimos cuadrados ponderados. Una ventaja del modelo es que requiere un número pequeño de muestras (puede ser menor a 25 (Anon 2003)), pero como inconveniente de este modelo surge el análisis factorial de los perfiles de emisión ya que es necesario tener un perfil de todas las principales fuentes locales pertinentes en la emisión para determinar las contribuciones de origen en la muestra (EPA 2013a).

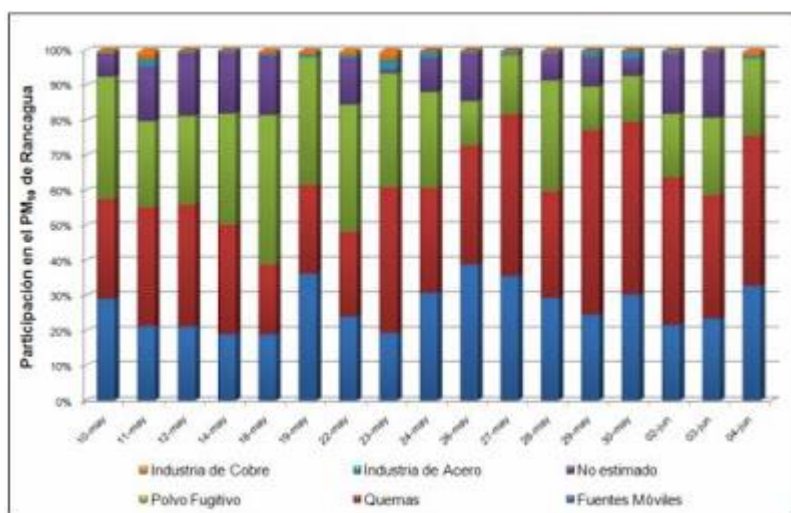
En el año 2008, se realizó en la Rancagua, Chile, un estudio para identificar el origen de la contaminación del aire (Mancilla 2008), con el fin focalizar las medidas en aquellos sectores donde la reducción de emisiones permitiera descontaminar la ciudad de manera significativa; para ello se utilizó el modelo receptor Chemical Mass Balance (CMB).

En primer lugar, se identificaron las principales fuentes emisoras de PM10, las cuales se extrajeron del inventario de emisiones atmosféricas contenido en el “Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Calidad del Aire VI Región”, desarrollado por DICTUC en el año 2007. Posteriormente, cada una de estas fuentes caracterizadas químicamente. Entre las fuentes identificadas por la caracterización se destacaron: Industria de cobre, quema de leña, fuentes móviles, polvo fugitivo y la industria del acero.

En cuanto a la caracterización química del receptor, de 36 muestras obtenidas entre los meses de mayo y junio de 2007 en la estación de monitoreo ambiental “Rancagua”, se seleccionaron aquellas muestras en las que los niveles de concentración de material particulado PM10 superasen la norma primaria vigente de PM10 de 150 µg/m³ (14 días de mayo del 2007 y 3 días de junio del 2007), con la finalidad de identificar a los principales responsables de los altos niveles de este contaminante en la comuna.

Una vez identificadas y caracterizadas químicamente las principales fuentes de contaminación, fue posible aplicar el modelo CMB a las muestras seleccionadas de PM10 recolectadas en la Estación Rancagua. Los resultados de la aplicación del modelo hicieron posible estimar el aporte de cada fuente emisora a los niveles de contaminación atmosférica, cuyos resultados se resumen en la Ilustración 5.

Ilustración 5. Ejemplo de resultados de contribuciones de fuentes específicas al PM10 en un sitio de muestreo en Chile



Fuente: Mancilla J., 2008.

Se observa que en más del 75% de los casos la quema de leña superó el 30% de participación en el PM10 comunal, señalándola como la principal fuente de contaminación. La alta contribución de esta fuente se explica por las bajas temperaturas registradas durante los días analizados, las cuales alcanzaron mínimas de -1 °C, lo cual generó un aumento en el uso de calefacción a leña en los hogares.

En este estudio se concluyó que la aplicación del modelo CMB permite abordar temas que están directamente relacionados con la toma de decisiones para mejorar

la calidad del aire, ya que puede ser aplicada para identificar, cuantificar y evaluar las fuentes responsables de los escenarios de máxima concentración.

3.5 Fuentes de emisión de material particulado

El material particulado proviene de fuentes naturales y antropogénicas; sales liberadas por oleaje en los océanos, cenizas volcánicas, material desprendido por erosión, polvo de carreteras, polen y residuos en general de procesos físicos y químicos del ambiente, son ejemplos de fuentes naturales (Morales 2006).

Las fuentes antropogénicas de PM se pueden clasificar como fijas o móviles; las fuentes fijas incluyen la producción de energía en plantas termoeléctricas que funcionan a base de carbón, e industrias cuyos procesos principales suplen su requerimiento de energía con base en la combustión; las fuentes móviles se refieren a vehículos con motores de combustión interna que operan con gasolina o diésel, así como con mezclas de éstos con biocombustibles (Liang 2013).

El material particulado no tiene una composición uniforme, ésta depende de sus fuentes e interacción con el ambiente (Morales 2006), por lo que es necesario una caracterización fisicoquímica como punto de partida para la comparación de su composición con perfiles de fuentes previamente caracterizadas.

Las principales fuentes que generan un aporte a la concentración de carbono elemental (EC) en el material particulado son: la combustión de combustibles fósiles, biocombustibles y biomasa, el uso de carbón en actividades domésticas y la quema de residuos a cielo abierto (Lee et al. 2013).

Entre las fuentes relacionadas con la emisión de carbono orgánico (OC) se encuentran: la descomposición de material orgánico, la preparación de alimentos y el polvo de suelo re suspendido (Shirmohammadi et al. 2016). Los procesos de combustión también realizan aportes a la concentración de OC pero su formación se debe en un mayor porcentaje a las reacciones químicas de compuestos orgánicos en la atmósfera (Pathak et al. 2011).

En un análisis de las fuentes origen de las especies iónicas en el material particulado (Javid et al. 2015), se encontró que tanto aniones como cationes pueden provenir de diferentes fuentes. La distribución de estas especies se relacionó así:

- Iones de sodio (Na^+) y cloro (Cl^-): Las principales fuentes de estos iones son el agua de mar, y el uso de la sal para el deshielo en invierno. Los cloruros también resultan como consecuencia de la neutralización del ácido

clorhídrico, que es emitido, de industrias como incineradores y centrales eléctricas.

- Cationes (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+}): Estos cationes se originan a partir de fuentes tanto naturales como antropogénicas. Las fuentes naturales asociadas con la erosión por viento en suelos áridos, erupciones volcánicas e incendios forestales; de forma antropogénica se producen por la erosión de tierras arables, la agricultura, la quema de biomasa, el tráfico en vías no pavimentadas, la construcción y demolición, y la combustión de combustibles no fósiles.
- Amonio (NH_4^+): Gran parte de estos compuestos se forman en la atmósfera por la oxidación del dióxido de azufre (SO_2) y óxidos de nitrógeno (NO_x). A nivel global el mayor aporte de amonios lo realizan las excreciones de animales y el uso de fertilizantes.
- Nitratos (NO_3^-) y sulfatos (SO_4^{2-}): Los sulfatos se forman por la oxidación del dióxido de azufre (SO_2), y este a su vez se genera durante la combustión de combustibles fósiles y la oxidación de compuestos orgánicos con contenidos de azufre. La emisión de óxidos de nitrógeno por el tráfico vehicular es el principal precursor de la formación de nitratos.

En estudios realizados (Querol et al. 2007) para la identificación de las principales fuentes de los elementos en traza más relevantes en el material particulado se ha encontrado una distribución de estos elementos correspondiente al tipo de industria que genera las emisiones de la siguiente forma:

- Industria del cobre: As, Bi, Ga y Cu.
- Producción de acero: Cr, Mn, Ni, Zn, Mo, Cd, Se, Pb y Sn.
- Producción de acero inoxidable: Cr, Ni, Mn y Mo. (V en menor proporción).
- Industria del zinc: Zn y Cd.
- Plantas petroquímicas: V y Ni. En algunos casos La, Co y Cs.
- Producción de cerámica: Zn, As, Se, Zr, Cs, Ti, Cd, Ce, Li, Co y Pb.
- Fabricación de ladrillos: Ti, Cs, Li, Co, V, Ni, Rb, Ce, Se, La y Ga.
- Tráfico de carretera: Ti, Sr, y Zr. Adicional a esto Zn, Ba, Cu y Sb (Relacionados principalmente con las llantas y la abrasión de frenos vehiculares).

Estos resultados se presentaron en el caso del análisis de muestras de material particulado PM10, para el caso de las muestras de PM2.5 la distribución de las fuentes fue casi la misma a excepción de los elementos Ti, Co, Ga, Ge, Rb y Ba. Estas especies no se destacan como marcadores para los tipos de emisiones

debido a la distribución y diferencia de tamaño entre las partículas (Querol et al. 2007).

3.6 Revisión del estado del arte

Desde finales de los años 90 se han implementado los modelos de receptores para la identificación de las fuentes de contaminantes atmosféricos alrededor del mundo. Algunos de estos estudios se han fundamentado en determinar la composición de material particulado, contaminante de criterio que tiene relación directa con el aumento de la mortalidad y la concentración de toxinas respirables en el aire. En un estudio realizado durante el año 2007 en la ciudad de Lahore, Pakistán, se realizaron análisis de caracterización para PM_{2.5} y PM₁₀ en cuanto a compuestos orgánicos, carbono elemental (EC), especies iónicas y orgánicas; y se utilizó el modelo de receptores de la EPA, CMB (Chemical Mass Balance) que mediante una combinación lineal de las concentraciones de material particulado llevo a determinar que entre las principales fuentes de emisión se encontraban vehículos a gasolina (19%), motores diésel (2%) y combustión de biomasa (5%); para el análisis de otras fuentes no identificadas se tuvo en cuenta la presencia de hornos de ladrillo, ya que la combustión generada por estos es sugerida como la principal fuente del OC encontrado (Stone et al. 2010).

Estudios recientes (Hamad et al. 2015) en la ciudad de Bagdad han caracterizado el PM_{2.5} y analizado sus fuentes de emisión mediante el modelo de receptores CMB y encontraron como fuentes principales de este contaminante los motores a gasolina (37%) y motores diésel (17%), en menor proporción se hallaron las quemas de madera (5%) y la combustión de aceites residuales (1%). Estas concentraciones de gasolina se deben en su mayoría a la cantidad de tráfico vehicular ocasionado por los puntos de control militar distribuidos por la ciudad y el aumento gradual de vehículos en los últimos años, así mismo la gasolina y el diésel componen la materia prima para las fuentes de energía en Bagdad. Las “otras” fuentes, o no encontradas (42%) pueden ser explicadas por las denominadas fuentes regionales primarias que no son directamente generadas por las emisiones de la ciudad.

Los aportes de las fuentes a la masa de PM_{2.5} fueron calculados por el aporte de OC en cada muestra y el radio de las emisiones, la contribución de iones de fuentes primarias y secundarias incluyendo sulfatos, nitratos y amonios corresponde en promedio a un 81% de la masa calculada de PM_{2.5}, el polvo en suspensión se considera el mayor contribuyente a este aporte de masa ya que Iraq es considerado como uno de los países más afectados en el Medio Oriente por las tormentas de arena; dentro de este porcentaje se incluyen: los compuestos secundarios

derivados de sulfatos que contribuyen en un 17% a la masa de material particulado, esto se atribuye a los combustibles pesados con altos contenidos de azufre utilizados en Bagdad y que no son regulados por la ley. Los motores a gasolina y diésel contribuyen al total de masa en un 13% y 11% respectivamente, la quema de madera a un 1% y la combustión de aceites residuales a un 0,7%. Las fuentes desconocidas contribuyen el 19% restante de la masa y son atribuidas a combustibles de baja calidad usados de forma residencial en calefacción, así, puede corresponder más a cenizas emitidas por estos combustibles.

De forma paralela se realizó un análisis de los metales tóxicos presentes en la atmósfera de la misma ciudad; para esto se realizó un análisis elemental de muestras de PM10 y PM2.5 que reveló concentraciones sumamente altas de Pb ($4.4 \mu\text{g m}^{-3}$), Zn ($12 \mu\text{g m}^{-3}$), Cd ($0.077 \mu\text{g m}^{-3}$), y otros metales tóxicos. Se encontró además que una fracción significativa de la concentración encontrada de Pb (el 84 %), Zn (el 98 %), y Cd (el 90 %) estuvo contenida en la fracción de PM2.5; estos niveles de concentración fueron asociados por medio de un análisis de componentes que identificó a las partículas del suelo en suspensión, las fuentes móviles y la combustión de biomasa como las principales fuentes de esta contaminación. El Cd, fue encontrado en concentraciones 16 veces más altas que el nivel de exposición máximo recomendado por la OMS y fue relacionado principalmente a fuentes industriales. Estos resultados destacan la importancia de realizar análisis que tengan como finalidad generar propuestas de reducción de los contaminantes atmosféricos, y así proteger de forma más eficaz la salud humana (von Schneidmesser et al. 2010).

En 2013 en los humedales de Liahone Ría, China se realizó un estudio para determinar la toxicidad de suelos y contribución de las fuentes PHAs; recolectando 30 muestras de suelos durante un mes. Mediante la metodología de estimación de equivalentes tóxicos (TEQ) y la aplicación del modelo de la EPA, CMB, se determinó que la contribución generada por las fuentes vehiculares es la más predominante con un 57,1% asociado con el tráfico local, seguido de las fuentes de la industria petrolera con un 21,6% relacionado la explotación de los yacimientos petrolíferos locales y en menor proporción la quema de biomasa con un 21,3%. De igual forma, mediante el TEQ se estipuló que la contribución a la toxicidad del suelo está dada por fuentes vehiculares es un 95,7%, por la industria petrolera en un 3,6% y por la quema de biomasa en un 0,7%. (Li et al. 2014). Este estudio muestra cómo es posible realizar un análisis de la contaminación presente en los suelos y relacionarla con las fuentes de contaminación atmosférica de la zona.

En el 2010 se realizó en Tiajin, China un estudio para determinar las fracciones de material particulado de diésel en microambientes en paradas de autobús, efectuando muestreos diarios en dos paradas de autobús durante dos meses en horas pico. Mediante la aplicación del modelo de la EPA, CMB, se determinó que los autobuses con motores diésel emiten mayor cantidad de material particulado que los vehículos a gasolina; adicionalmente, se determinaron la mediana de la fracción de ingesta por individuo (IFI) y la fracción de ingesta por individuo (IFp). Estos parámetros son potencialmente significativos para la evaluación y la gestión del riesgo a causa de los altos niveles de concentración en el microambiente del transporte. Los resultados de este estudio, realizado por la Universidad de Nankai, son fundamentales debido a que este es el primer estudio en estimar la fracción de ingesta de DPM (Material Diésel Particulado) y se puede aplicar en zonas metropolitanas similares (Xu et al. 2015).

En Colombia se han realizado diversos estudios con respecto a la calidad del aire en los últimos 20 años en los cuáles se han implementado como herramienta de diagnóstico los modelos de receptores.

En 2007, la Secretaria Distrital del Ambiente y la Universidad Nacional de Colombia realizaron un análisis de las concentraciones de PM10 en la ciudad de Bogotá, utilizando el modelo de receptores de la EPA, PMF, el cual fue ejecutado de forma independiente en diferentes sectores de la ciudad (Suba y Carvajal). Los resultados arrojados por este estudio determinaron que el 35.3% del PM10 es aportado por las fuentes móviles en promedio en los dos barrios, pero en Carvajal un 20.8% es aportado por el polvo mientras que en Suba esta fuente solo aporta un 9%. Esta diferencia se da por la cantidad de vías no pavimentadas en cada lugar. Además Carvajal presentó altos niveles en las concentraciones de Pb, Cd y Zn, debido a las industrias de tamaño medio en el sector.

Estos resultados muestran que la composición y los niveles de PM10 varían considerablemente de forma espacial en Bogotá, por lo que es necesario aumentar los análisis con muestras y puntos de muestreo para que el modelo PMF arroje resultados que ayuden a comprender mejor esta variabilidad (Vargas & Engineering 2009).

En el Corregimiento El Hatillo, Cesar, se realizó un estudio durante los años 2009 a 2014, con el objetivo de determinar la contribución de las fuentes preexistentes a la polución del aire por el material particulado de la zona, realizando la recolección de 140 muestras durante un periodo de 2 meses aplicando los modelos de la EPA, PMF y UNMIX. Se determinó que la principal fuente de contribución a la polución

fueron la quema de biomasa en incendios forestales en un 46%, seguido por la quema de biomasa como combustible para calderas, con un aporte del 26%; en menor proporción, se identificaron fuentes como la re suspensión de polvo del suelo y vehículos diésel. Este estudio fue realizado por la empresa K2 Ingeniería y CORPOCESAR; estos resultados generaron aportes para el planteamiento de medidas específicas de control de la contaminación atmosférica en la zona (Ortiz & Rojas 2015).

En el 2009, se implementaron en Bogotá los *Elementos técnicos* para el *Plan Decenal de Descontaminación en Bogotá*, mediante la caracterización de material particulado y el uso de modelos de receptores en diferentes zonas de la ciudad. Los resultados del estudio corroboraron que la zona industrial de Bogotá presenta niveles de contaminación por material particulado indiscutiblemente mucho más elevados que los encontrados en otras zonas de la ciudad (promedio diario de PM10 de 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, rango entre 25 y 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y la modelación por receptores demostró ser de gran importancia ya que a través de la misma fue posible identificar la fuentes de emisión para la ciudad, obteniendo como resultado que el 80% del PM producido en la ciudad así como el 40% del CO provienen de fuentes industriales. (Alcaldía Mayor de Bogotá & Universidad de Los Andes 2009).

En el 2010, en el área de Bucaramanga se realizó un estudio de los efectos de la contaminación atmosférica y sus efectos sobre la salud humana con el propósito de aportar conocimientos que permitieran orientar medidas preventivas y correctivas para mejorar las condiciones de salud y la calidad del aire en la ciudad. En este estudio se realizó la caracterización del material particulado y posterior aplicación de modelos de receptores, aplicando el EPA, PMF y el UNMIX.

Los resultados del análisis de receptores con PMF, mostraron que a los vehículos automotores se les atribuye un aporte del 61,9% y a fuentes geológicas del 20,1%. De igual manera, UNMIX determinó que los vehículos aportan un 54% y las fuentes geológicas un 32% por lo que al comparar los modelos implementados estadísticamente existe buena concordancia, dando mayor importancia al estudio.

Adicionalmente se pudo concluir que la exposición a contaminantes atmosféricos se relaciona directamente con síntomas indicativos de enfermedades respiratorias en la población Bumanguesa y se logró establecer pautas para recomendar una revisión de los valores máximos permisibles de concentración de PM10 en la atmósfera para proteger la salud humana (Rodríguez Villamizar et al. 2010; Castro Ortiz & Rojas 2015)

Actualmente en Colombia se desarrollan diversos proyectos que involucran los modelos de receptores con el fin de determinar las fuentes de contaminación para diferentes procesos industriales, un ejemplo en desarrollo es: *La aplicación de los modelos de receptor en el área minera de El Cerrejón (La Guajira, Colombia) con el objetivo de determinar el aporte de fuentes a la contaminación del aire por material particulado* [Rodríguez, en ejecución].

4 METODOLOGÍA

Para el cumplimiento de los objetivos a continuación se describen las actividades realizadas.

4.1 Determinación de la composición fisicoquímica del material particulado PM2.5 generado en la zona central de Bucaramanga durante 6 meses.

Actividades:

4.1.1 Selección de punto de muestreo

Municipio: Bucaramanga (Santander)

Zona: Intersección de la Calle 50 con Diagonal 15

El muestreo se realizó en la Intersección de la Calle 50 con Diagonal 15, esta zona se clasificó como una zona comercial según el Plan de Ordenamiento Territorial (2013 – 2027)

Según el POT es considerada área de actividad comercial tipo 2, también está clasificado como área de actividad múltiple tipo 1, debido a su ubicación central en la ciudad con predominio de actividades específicas (calzado, zona rosa, metalmecánica, puntos de reparación automotriz), este genera además una clasificación de acuerdo a la dinámica económica del suelo urbano, los proyectos futuros de ciudad, el crecimiento poblacional y la demanda de vivienda cuantitativa y cualitativa; definen el área del punto de muestro como Área Comercial y de servicios livianos o al por menor, especificando que esta zona está destinada principalmente al desarrollo de uso comercial especializado y venta de servicios generales y empresariales

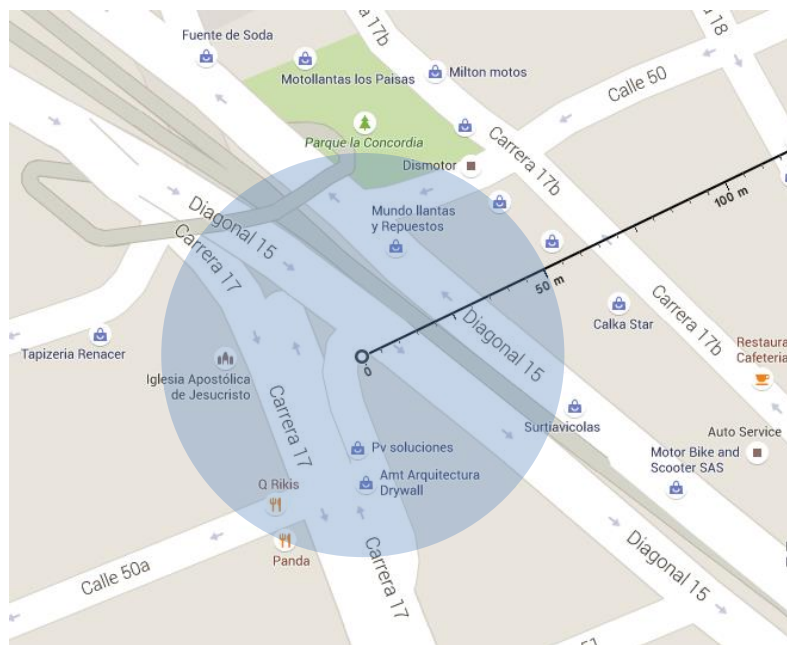
Cercanías al punto de muestreo se encuentran las siguientes vías, las cuales generan un aporte considerable de contaminantes para el sector:

- La Diagonal 15, ubicada en la intersección del punto de muestreo, es una de las principales vías de la ciudad, sin embargo, actualmente transita vehículos del Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM) denominado Metrolínea, clasificando esta vía como con un tránsito promedio diario de 40000 a 70000 vehículos por día, adicionalmente, se moviliza vehículos de servicio público colectivo, motos, vehículos de carga y vehículos particulares.

- La calle 50 con la intersección con la Diagonal 15 está ubicada a 50 metros aproximadamente del punto de muestreo, transitan servicio público colectivo (corriente y ejecutivo), vehículos de carga pequeña y vehículos privados.
- Sobre el punto de muestreo se genera un intersección con la carrera 17, la cual es considerada una vía arterial secundaria, se caracteriza por presentar un alto flujo de vehículos por día o en algunos casos el mayor número de personas movilizadas por día y facilitan la conexión de los principales flujos vehiculares nacionales de paso por el área urbana, desplaza en los ambos sentidos, no obstante, el tráfico sur a norte se dirige por un túnel que atraviesa por la Diagonal 15.

Asimismo presenta altas concentraciones de material particulado (reportadas en los años 2004 y 2006, estudios realizados por la CDMB) los cuales sobrepasaron la norma anual establecida por la Agencia de Protección Ambiental (EPA). Esta situación mejoró con la implementación del servicio de Metrolínea que atraviesa toda la carretera 15, disminuyendo la contaminación de forma significativa. En la ilustración 1, se indica el punto de localización del muestreador.

Ilustración 6. Ubicación del punto de muestreo



Fuente: Google Maps, 2014, Modificado por la autoras.

A continuación se indican en la Tabla 1 las fuentes fijas más cercanas al punto de muestreo, cabe resaltar que la mayoría que entran en un rango de 100 m a la

redonda son establecimientos de distribución, reparación automotriz, ventas, restaurantes y gasolinera. Sin embargo, a un rango de 200 m hacia el noreste se ubican una serie de almacenes de cadena, tales como el Éxito y Homecenter. Estas fuentes pueden generar emisiones de PM2.5 debido a sus procesos productivos que incluyen el uso de aerosoles, reparación de motores vehiculares, uso de cocinas al carbón o gas natural, entre otros; además de considerar que su presencia es precursora del aumento de tráfico vehicular en la zona.

Tabla 1. Fuentes fijas cercanas al muestreador.

Razón Social	Sector económico	Dirección	Distancia (m)
Mundo Llanta y Repuestos	Automotriz	Calle 50 #17-36	85
Surtiavicola	Surtido de Alimentos	Diagonal 15 # 50-57	55
Estación Servicio la Concordia	Hidrocarburos	Carrera 17 # 48-51	30
Q Rikis	Restaurante	Carrera 17 # 50-46	40

Fuente: Autoras.

- **Conteo del tráfico en el punto de muestreo**

De acuerdo a lo anterior, se planificó realizar una caracterización cuantitativa de las fuentes móviles de material particulado en el punto de muestreo que contribuyera al análisis de la influencia de estas fuentes en las emisiones de PM2.5, mediante un conteo de vehículos, diferenciando los que usan como combustible gasolina y aparte aquellos que usan diésel.

Para esto se situaron cuatro personas durante cada campaña dentro de la estación de Metrolínea, La Rosita, ubicada cerca al punto (debido a la excelente visibilidad y a la seguridad que brinda la misma) y realizaron de forma visual y manual el conteo así: la primera persona cuantificó los vehículos particulares mientras la segunda persona cuantificó los vehículos de servicio público y tráfico pesado en dirección Norte-Sur, de igual forma, la tercera y cuarta persona realizaron las mismas actividades respectivamente en sentido Sur-Norte. Los resultados se presentan de forma global debido a que no es significativo hacia donde se dirige el flujo vehicular. Esta campaña se realizó durante los días jueves, viernes y sábado entre octubre y noviembre, con el objetivo de conocer la variación del tráfico en días entre semana y en fin de semana.

Con el objetivo de cuantificar el tráfico vehicular según la distribución horaria de cada día, se realizó el seguimiento en franjas de dos o tres horas con intermedios de media hora según el flujo vehicular esperado (horas pico y horas valle) a partir de las 6:00 am hasta las 7:00 pm.

4.2 Parámetros de caracterización química del PM_{2.5}

Las muestras recolectadas durante los 4 meses de muestreo fueron enviadas al Laboratorio Estatal de Higiene de Wisconsin, entidad adjunta a la Universidad de Wisconsin – Madison, todas las pruebas fueron realizadas en este ente a excepción de la prueba de Black Carbon que se llevó a cabo en el Laboratorio de Estudios Ambientales de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Para este análisis se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

4.2.1 Masa

La masa total del PM se determinó por análisis gravimétrico utilizando balanzas de precisión (± 0.001 mg) (EPA 2012). Esta medición se realizó en los filtros de membrana de teflón, recomendados para ejecutar esta clase de medición. Cada filtro se pesó antes y después de usarlo con el objetivo de determinar el peso neto ganado de PM 2.5 (Sarigiannis et al. 2014), este procedimiento se realizó mediante el uso de una balanza de alta precisión (Stone et al. 2010) (Mettler Toledo, USA).

El volumen total de aire muestreado, reformado a condiciones estándar (25°C, 101.3 KPa), se determinó a partir de la velocidad de flujo medida y el tiempo de muestreo. La concentración máscica de PM 2.5 en el aire ambiente se calculó como la masa total de partículas recolectadas en el intervalo de tamaño PM 2.5, respectivamente, dividido por el volumen de aire muestreado y se expresa en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (EPA 2013a).

4.2.2 Aniones y cationes

Los iones solubles en agua (sulfatos, nitratos, cloruros, amonio, sodio, calcio y potasio) se midieron de extractos de agua de los filtros de fibra de cuarzo por medio de cromatografía de intercambio iónico (Stone et al. 2010) El contenido en iones solubles en agua en el material particulado complementa la información requerida para identificar posibles fuentes emisoras por medio de modelos de receptores.

4.2.3 Carbono orgánico total

Las concentraciones de carbono orgánico total (TOC) total fueron medidas por medio del ASTM D 7573-09, método de prueba estándar para carbono total y

carbono orgánico en el agua por la alta temperatura de combustión catalítica y detección de infrarrojos que se utiliza para muestras que contienen altos niveles de material particulado (O.I Analytical 2011). Esto, utilizando filtros de fibra de cuarzo que presentan alta capacidad de retención de las partículas y menor absorción de humedad y realizando un análisis de muestras compuestas por medio de fracciones tomadas de cada filtro.

4.2.4 Elementos en trazas solubles en agua

Los elementos en trazas solubles en agua se midieron mediante muestras compuestas extraídas de filtros de teflón por medio de agua ultra pura. El análisis se realizó por medio de espectrometría de masas con plasma inducido (ICP/MS) (von Schneidemesser et al. 2010). El contenido de estos elementos también está asociado con la identificación de fuentes y la estimación de la potencial toxicidad del material particulado.

4.2.5 Black Carbon

Fue determinado por la metodología de Transmisómetro OT21. El instrumento mide la absorción óptica de las partículas depositadas en el filtro muestreado utilizando una fuente de luz de longitud de onda de funcionamiento a 880 nm (IR), el cual proporciona una medición cuantitativa del BC (Stone et al. 2010)-.

Con los resultados determinados de masa, TOC, BC, especies iónicas y elementos en trazas solubles en agua en el PM2.5, se aplicó un modelo de receptores con el objetivo de determinar las fuentes de emisión principales en el área. Estos resultados se generan con el fin de servir para apoyar la formulación y renovación de normatividad a nivel local.

4.3 Evaluación de los modelos de receptores más adecuados de acuerdo a los parámetros de caracterización y al número de muestras disponibles.

Actividades:

4.3.1 Selección de los modelos de receptores a aplicar.

En esta actividad se contemplaron las opciones para la aplicación de diferentes modelos de receptores, teniendo en cuenta para el proceso de selección: las características de emisión de la fuente, características del sitio donde será aplicado el modelo y el número de muestras y análisis a realizar. Además, se analizó la

capacidad de los modelos para describir tanto la fuente de contaminantes atmosféricos como todas las influencias relevantes en el sector objeto de estudio.

4.3.2 Aplicación de los modelos

A esta actividad le compete la simulación de los procesos químicos de formación de la muestra según su composición, a través del uso de algoritmos matemáticos para la determinación de los tipos de fuentes de emisión de los contaminantes. Esta actividad llevó a una comparación de los modelos seleccionados para determinar cuál funcionaba mejor en este estudio.

Software

La Agencia de Protección Ambiental, EPA (Por sus siglas en inglés) con apoyo de la Oficina de Investigación y Desarrollo, ORD (Por sus siglas en inglés), de los Estados Unidos propician los estudios y análisis que tengan que ver con la protección y el cumplimiento de sus leyes ambientales, en materia de calidad del aire han desarrollado una gama de modelos y técnicas de simulación matemática para fortalecer las políticas y estrategias de control frente a la contaminación.

Dentro de estos modelos y técnicas se incluyen herramientas para analizar dispersión, fuentes, procesos fotoquímicos, entre otros. Estas dos organizaciones en su liderazgo para proyectos de investigación y avances científicos en temas ambientales proveen los software de todos estos modelos de forma gratuita de tal manera que cualquier investigador en el mundo tenga acceso a ellos y pueda aplicarlos en sus estudios, esto con el fin de magnificar los análisis y resultados que se pueden obtener con estas herramientas (Henry 2005).

Así, la página de la EPA provee los links de descarga de software y manuales de usuario necesarios en este caso para modelos de receptores (CMB, PMF y UNMIX) entre los cuales se seleccionarán los que se crea conveniente aplicar en este estudio.

4.4 Análisis de la variación temporal de la composición del PM2.5 en una zona de alto tráfico vehicular en Bucaramanga

4.4.1 Variación temporal de cada parámetro

Al obtener los resultados de las pruebas realizadas a cada muestra (Masa, aniones y cationes, TOC, elementos en trazas y BC) se realizó un análisis de la variación temporal de cada parámetro para determinar si existió una tendencia en el

comportamiento de los mismos con respecto a sus concentraciones en el material particulado.

4.4.2 Análisis de las condiciones meteorológicas durante el periodo de muestreo

Para determinar qué causó las variaciones temporales en los resultados obtenidos se hizo necesario conocer el comportamiento de las variables meteorológicas ocurridas en el periodo de muestreo, entre estas: la temperatura, presión, dirección y velocidad del viento, precipitación, entre otras.

4.4.3 Correlación entre parámetros de estudio, condiciones meteorológicas y eventos especiales.

En esta actividad se consideró si durante el periodo de muestreo ocurrió algún evento no cotidiano en el punto de toma de muestra que de cualquier manera pudiera afectar la medición, como podría ser un día sin carro, una huelga de servicio público, accidentes de tránsito, cierres de vía, entre otros.

Seguido a esto se realizó una correlación entre las variaciones de los parámetros de estudio y las condiciones meteorológicas (teniendo en cuenta los eventos no cotidianos) que permitió definir un comportamiento del contaminante ligado a su fuente de emisión.

4.5 Cuantificación del aporte de las fuentes de material particulado PM2.5 en las zonas de influencia al punto de muestreo por medio de la aplicación de los modelos de receptores seleccionados

Actividades:

4.5.1 Análisis de resultados arrojados por los modelos de receptores aplicados con anterioridad.

En esta fase el modelo utilizado generó una serie de resultados comparativos en cuanto a la composición de cada muestra lo que permitió la interpretación y evaluación de los valores cuantitativos del estudio y su comparación con el análisis de la caracterización cualitativa realizada anteriormente confirmando los tipos de fuentes de emisión, además de permitir una comparación entre los resultados obtenidos por el modelo implementado lo que da más validez al análisis.

4.5.2 Correlación de los resultados con la bibliografía pertinente.

En esta actividad se integraron los resultados obtenidos y analizados de la implementación de los modelos con los obtenidos en otras investigaciones, esto con el fin de respaldar y/o establecer una comparación de las fuentes de emisión de PM2.5 en Bucaramanga y otros escenarios.

4.5.3 Correlación de las fuentes identificadas por el modelo de receptores con las emisiones en el punto de muestreo.

Esta actividad integró un análisis de los tipos de fuentes (empresas, vehículos, actividades cotidianas) que se encuentran a los alrededores del punto de muestreo y que generan algún tipo de emisión que pueda contribuir a los resultados arrojados por la implementación del modelo de receptores.

Con estas fuentes identificadas de forma puntual se procedió a entregar la información a los encargados del estudio epidemiológico para constatar la incidencia de dichas emisiones en las enfermedades cardiacas de la población implicada.

5 RESULTADOS

De la realización de las actividades propuestas en la metodología se obtuvieron los siguientes resultados:

5.1 Determinación de la composición fisicoquímica del material particulado PM2.5 generado en la zona central de Bucaramanga durante 6 meses.

Punto de muestreo

Para la selección de la zona de muestreo se tomaron como base los datos de la red de monitoreo de calidad del aire de la CDMB, que cuenta desde 2001 con información histórica de PM10 en 8 puntos de monitoreo en Bucaramanga y su área metropolitana. Teniendo en cuenta los reportes de monitoreo de PM10 de los años 2010 a 2012, se registra que el punto de monitoreo con mayor concentración de PM10 corresponde a la zona centro de la ciudad (monitor ubicado en la calle 50 con diagonal 15) con niveles promedio diarios de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$; esta zona mantiene consistencia en los niveles promedio diarios registrados en temporada seca y lluviosa, por lo cual correspondió a la zona de muestreo para nuestro estudio.

En el punto de muestreo se ubicó un muestreador de volumen medio URG-3000ABC, que permite coleccionar muestras de PM2.5 simultáneamente en cuatro filtros, a un flujo de aire de 8 litros por minuto. De los cuatro filtros que coleccionaron muestras de PM2.5, dos serán de fibra de cuarzo y los otros dos de membrana de teflón. Se analizó un filtro de cada material por cada ciclo de muestreo, ciclos que fueron de cinco días, de manera que los filtros se coleccionaron cada sexto día y se almacenarán en condiciones específicas de temperatura y humedad, para asegurar que la muestra sea representativa. En estas condiciones, se coleccionaron un total de 4 filtros cada sexto día, equivalente a 20 filtros al mes, y 240 filtros al año, sin incluir los blancos.

En las Ilustraciones 7 y 8 se observa el registro fotográfico del punto de muestreo:

Ilustración 7. Punto de muestreo: Intersección de la calle 50 con carrera 15, Bucaramanga, Santander



Fuente: Autoras

Ilustración 8. Vía principal ubicada frente al punto de muestreo



Fuente: Autoras

En la ilustración 9 se observa el equipo utilizado para el muestreo:

Ilustración 9. Equipo de muestreo



Fuente: Autoras

- **Conteo del tráfico en el punto de muestreo**

El estudio sobre el conteo de tráfico se realizó con el propósito de determinar cantidad de vehículos sobre la zona circundante al punto de muestreo. En base a dichos datos se hizo posible el desarrollo de estimaciones con respecto a la cantidad y tipo del parque automotor que transita esta zona. A través de los datos obtenidos se determinó que el tránsito promedio diario entre semana es aproximadamente 64783 vehículos, de los cuales un 9.2% (5968) aproximadamente corresponde vehículos que utilizan combustible diésel y un 81.8% (58815) corresponde a vehículos particulares, entre los cuales se consideraron taxis y motocicletas; no obstante, se observó que existe una predominante cantidad de motocicletas en la zona objeto de estudio. De igual forma, durante el fin de semana se estipuló que el tránsito promedio diario es de 52677 vehículos de los cuales un 8% (4234) corresponden a vehículos que utilizan combustible diésel.

Estas fuentes móviles son grandes aportantes en las emisiones de partículas finas, PM2.5, por lo que es importante conocer su volumen y funcionamiento dentro de la

ciudad para generar procesos de mejora en su uso y distribución que aporten a una mitigación de la contaminación generada.

Tabla 2. Resultados del conteo de fuentes móviles.

Conteo vehicular					
Día	Hora inicio	Hora fin	Tipo de vehículos	No. Vehículos	Hora
24/10/2015	6:04:00 a. m.	8:04:00 a. m.	851	Motor diésel	PICO
24/10/2015	6:04:00 a. m.	8:04:00 a. m.	9631	Motor a gasolina	
24/10/2015	8:34:00 a. m.	11:34:00 a. m.	728	Motor diésel	VALLE
24/10/2015	8:34:00 a. m.	11:34:00 a. m.	9497	Motor a gasolina	
24/10/2015	12:04:00 p. m.	2:04:00 p. m.	917	Motor diésel	PICO
24/10/2015	12:04:00 p. m.	2:04:00 p. m.	12181	Motor a gasolina	
24/10/2015	2:34:00 p. m.	5:04:00 p. m.	1069	Motor diésel	VALLE
24/10/2015	2:34:00 p. m.	5:04:00 p. m.	10983	Motor a gasolina	
24/10/2015	5:34:00 p. m.	7:34:00 p. m.	669	Motor diésel	PICO
24/10/2015	5:34:00 p. m.	7:34:00 p. m.	9080	Motor a gasolina	
05/11/2015	2:30:00 p. m.	4:30:00 p. m.	1209	Motor diésel	VALLE
05/11/2015	2:30:00 p. m.	4:30:00 p. m.	11889	Motor a gasolina	
05/11/2015	5:30:00 p. m.	6:40:00 p. m.	777	Motor diésel	PICO
05/11/2015	5:30:00 p. m.	6:40:00 p. m.	9491	Motor a gasolina	
06/11/2015	6:00:00 a. m.	8:00:00 a. m.	1583	Motor diésel	PICO
06/11/2015	6:00:00 a. m.	8:00:00 a. m.	11650	Motor a gasolina	
06/11/2015	8:30:00 a. m.	11:00:00 a. m.	1347	Motor diésel	VALLE
06/11/2015	8:30:00 a. m.	11:00:00 a. m.	11707	Motor a gasolina	
06/11/2015	12:00:00 p. m.	2:00:00 p. m.	1052	Motor diésel	PICO
06/11/2015	12:00:00 p. m.	2:00:00 p. m.	13660	Motor a gasolina	

Fuente: Autoras

- **Análisis de muestras**

Los análisis de las muestras recolectadas fueron realizados mediante las pruebas descritas anteriormente (Ver metodología 1.2). Los análisis de masa, iones, y elementos solubles en agua en trazas se realizaron sobre muestras compuestas mensuales de aproximadamente 5 filtros de membrana de teflón; los análisis de carbono orgánico total (TOC) y black carbon (BC), se realizaron sobre muestras compuestas mensuales de aproximadamente 5 filtros de fibra de cuarzo. La tabla 3 corresponde a los resultados del análisis gravimétrico, Black Carbon, TOC, iones solubles en agua y elementos en trazas solubles en agua de las cinco muestras compuestas correspondientes a las siguientes fechas:

Muestra 1 - 20/10/2014 - 25/11/2014

Muestra 2 - 25/11/2014 - 22/12/2014

Muestra 3 - 19/01/2015 - 12/02/2015

Muestra 4 - 12/02/2015 - 20/03/2015

Muestra 5 - 20/03/2015 - 13/04/2015

Cada muestra estuvo compuesta por un grupo de 3 a 6 filtros según la disponibilidad de recolección que hubo en las fechas correspondientes. A partir de los análisis realizados se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3. Análisis fisicoquímico de muestras

Análisis	Muestra compuesta				
	1	2	3	4	5
PM2.5 (ug/m ³)	16,2	226	21,4	36,5	24,9
BC Promedio (ug/m ³)	3,964	4,132	4,149	5,369	3,662
TOC semanal (ug OC/m ³)	1,042	27,874	1,689	2,540	5,069
Especies iónicas (ug/m ³)					
Cloruros	0,010	0,022	0,010	0,020	0,004
Nitratos	0,078	1,195	0,177	0,678	0,155
Fosfatos	0,067	0,326	0,062	N.A	0,050
Sulfatos	1,584	35,083	2,808	4,653	3,465
Sodio Soluble	0,044	1,034	0,183	0,470	0,204
Amonio	0,642	13,396	1,106	1,938	1,267
Potasio Soluble	0,071	2,167	0,165	0,431	0,314

Análisis	Muestra compuesta				
	1	2	3	4	5
Elementos en trazas (ng/m3)					
Li (7)	0,085	1,342	0,116	0,117	0,105
B (11)	1,006	27,808	2,605	9,089	5,863
Na (23)	46,678	1087,393	183,714	435,460	195,088
Mg (25)	16,132	302,874	34,359	56,327	36,028
Al (27)	74,953	1101,618	126,217	123,357	120,413
P (31)	18,260	275,153	20,919	18,880	18,623
S (32)	650,042	12625,975	1070,429	1575,964	1203,325
K (39)	86,992	2255,475	181,404	384,503	330,434
Ca (44)	81,876	1640,917	109,437	109,826	99,586
Sc (45)	0,013	0,187	0,023	0,022	0,022
Ti (49)	10,753	155,631	13,623	17,946	13,420
V (51)	0,455	12,278	1,367	1,607	1,172
Cr (52)	2,059	23,073	2,024	2,259	1,699
Mn (55)	5,711	50,479	5,177	5,777	3,782
Fe (56)	150,869	2056,001	262,328	350,804	168,214
Co (59)	0,097	1,126	0,094	0,095	0,074
Ni (60)	0,604	7,759	0,769	0,885	0,611
Cu (63)	6,859	100,532	6,476	6,409	6,900
Zn (66)	19,258	245,394	26,762	24,555	20,821
As (75)	0,353	5,711	0,387	0,413	0,375
Se (82)	0,823	15,337	1,150	1,677	1,176
Rb (85)	0,235	4,159	0,471	0,999	0,707
Sr (88)	0,759	17,633	1,060	1,217	1,174
Y (89)	0,032	0,564	0,050	0,053	0,048
Nb (93)	0,023	0,296	0,035	0,039	0,031
Mo (95)	0,347	4,293	0,329	0,324	0,275
Rh (103)	0,001	0,013	0,001	0,001	0,001
Pd (108)	0,013	0,171	0,015	0,019	0,014
Ag (109)	0,156	2,460	0,107	0,073	0,066
Cd (111)	0,115	1,635	0,173	0,463	0,275
Sn (118)	1,678	16,263	4,289	1,907	1,199
Sb (121)	2,241	42,388	2,319	1,783	1,905
Cs (133)	0,008	0,117	0,012	0,016	0,013
Ba (137)	8,950	158,602	8,827	8,418	8,754
La (139)	0,096	1,516	0,183	0,205	0,136
Ce (140)	0,112	1,650	0,176	0,194	0,171

Análisis	Muestra compuesta				
	1	2	3	4	5
Pr (141)	0,011	0,173	0,018	0,020	0,017
Nd (146)	0,041	0,634	0,067	0,078	0,064
Sm (149)	0,007	0,115	0,012	0,014	0,013
Eu (151)	0,004	0,074	0,005	0,006	0,005
Dy (163)	0,006	0,088	0,009	0,010	0,009
Ho (165)	0,001	0,019	0,002	0,002	0,002
Yb (173)	0,003	0,053	0,005	0,004	0,005
Lu (175)	0,000	0,008	0,001	0,001	0,001
W (184)	0,078	0,634	0,043	0,042	0,042
Pt (195)	0,001	0,019	0,001	0,001	0,000
Ti (205)	0,020	0,331	0,027	0,040	0,028
Pb (Sum)	4,550	89,366	5,012	5,172	4,181
Th (232)	0,016	0,248	0,024	0,025	0,023
U (238)	0,007	0,119	0,010	0,010	0,009

Fuente: Autoras

Los resultados obtenidos permiten estimar a grandes rasgos la proveniencia del PM2.5 de las muestras, al encontrar que gran cantidad de sus componentes son orgánicos (BC y TOC), sulfatos y, elementos metales y no metales (Na, Mg, Al, P, S, K, Ca, Fe), que hacen parte de la composición de gran cantidad de combustibles fósiles usados en la cotidianidad. Adicionalmente, para ciertos elementos se encontraron concentraciones significativas, incluyendo Ti (hasta 155,631 ng/m³), Zn (hasta 245,394 ng/m³), Ba (hasta 158,602 ng/m³) y Pb (hasta 89,366 ng/m³), lo cual es indicativo que fuentes como el tráfico de carretera y la abrasión de frenos vehiculares, hacen aportes importantes al PM2.5 en la zona de estudio. Para la muestra compuesta 2 se observa una concentración de PM2.5 muy elevada (226 ug/m³) en comparación con las demás, lo que puede indicar que durante el periodo de tiempo correspondiente a esta muestra sucedió un evento extraordinario.

5.2 Evaluación de los modelos de receptores más adecuados de acuerdo a los parámetros de caracterización y al número de muestras disponibles.

5.2.1 Selección de los modelos de receptores a aplicar.

El análisis del funcionamiento y aplicación de los tres modelos proporcionados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA), PMF, CMB y UNMIX se basó en la lectura de sus manuales y prueba los ejemplos allí incluidos, con el fin de encontrar cuál o cuáles de estos software podrían aplicarse a los datos del presente estudio.

Para el proceso de selección se tuvieron en cuenta:

- **Características de emisión de la fuente:** Cada uno de los modelos cuenta con un sistema que compara la composición química de cada muestra con los perfiles de diferentes fuentes de emisión de PM_{2.5} determinado experimentalmente. CMB cuenta con una base de datos de estos perfiles de diferentes fuentes de emisión calculados en los Estados Unidos. La escogencia de las fuentes se realiza entre estas bases de datos, teniendo en cuenta que en Colombia aún no se cuenta con estos perfiles. En el caso de PMF y UNMIX, ambos modelos cuentan con los perfiles de fuentes incluidos en sus bases de datos, por lo que no es necesario realizar ninguna selección ni revisión a estos, simplemente aplicar el modelo con los datos de concentración de las muestras propias. Este parámetro no resulta determinante en la selección del modelo, los tres cuentan con las bases de datos necesarias para realizar el análisis requerido.
- **Número de muestras:** Este parámetro es determinante en la selección del modelo a aplicar, en este caso UNMIX necesita como mínimo 50 muestras, según estudios realizados (Rodríguez Villamizar et al. 2010) para realizar las iteraciones suficientes y generar un paquete de soluciones que permita analizar al usuario cuáles son fiables y cuáles no. UNMIX no permite la ponderación individual de los datos lo que limita el análisis de un número reducido de muestras (UNMIX 2007). En el caso de PMF, se requiere un número superior de muestras, generalmente 100 y debe contar con un mínimo de 10 a 20 especies para análisis (EPA 2014); algunos estudios (Zhang et al. 2009), han utilizado menor cantidad de muestras pero no menos de 50 por lo que no es un modelo viable para muestreos reducidos. Finalmente, CMB es un modelo que puede trabajar desde una sola muestra hasta cientos, ya que utiliza un sistema de iteraciones que tiene en cuenta los perfiles de las muestras para análisis y no su cantidad (CMB 2004).
- **Resultados y análisis:** Los tres modelos revisados arrojan resultados muy similares, UNMIX arroja datos en función de la contribución al PM y su respectiva relación con cada especie de su composición (UNMIX 2007). PMF muestra una serie de perfiles posibles que pueden corresponder al punto de muestreo por lo que se debe hacer una comparación cualitativa y cuantitativa de estos resultados para seleccionar el que mejor se adecue a los parámetros del estudio, se debe correr el modelo hasta encontrar el perfil que corresponda (EPA 2014); y CMB arroja resultados en los que se relacionan

las concentraciones de las especies reactivas calculadas con sus correspondientes en cada fuente de emisión posible, además del porcentaje de aporte de cada fuente a cada muestra analizada (CMB 2004).

Los tres modelos son adecuados para ser utilizados en un análisis de aporte de fuentes de contaminación pero el parámetro que determina cuál o cuáles de estos modelos se puede utilizar es el número de muestras, por lo que en este análisis temporal de la contaminación en una zona de muestreo en Bucaramanga se seleccionó el modelo CMB como método a aplicar debido a que solo se cuenta con 5 muestras compuestas para su análisis.

5.2.2 Aplicación del modelo seleccionado

Para aplicar el modelo CMB se realizó un análisis de los resultados de la caracterización de las muestras, a partir de esto se organizaron los datos tal y como el modelo los solicita para su correcto funcionamiento.

La selección de las fuentes para el análisis incluyó una revisión cualitativa de las posibles fuentes cercanas al sitio de muestreo y una clasificación de la base de datos de perfiles de fuentes en CMB para seleccionar los más acordes a este estudio. Estas fuentes incluyeron entre otras: Abrasión de frenos vehiculares, polvo de construcción, vehículos a gasolina, vehículos con motor diésel, combustión de gases, cocina de fritos, aceite de motor, emisiones cocina al carbón, pinturas en aerosol, transporte y quema de biomasa.

CMB solicita al usuario realizar una selección de las especies a analizar y las fuentes con las que se desea relacionar esta información, permite realizar 10 combinaciones de especies y 10 de fuentes limitando únicamente que el número de fuentes debe ser menor al número de muestras. Así entonces se realizaron las diferentes corridas entre combinaciones posibles para encontrar aquella donde los resultados cumplieran con los valores estadísticos adecuados y fueran confiables.

Los resultados arrojados por el modelo CMB se pueden encontrar tabulados en los Anexos 1 y 2, y se analizarán en la sección 4.

5.3 Análisis de la variación temporal de la composición del PM_{2.5} en una zona de alto tráfico vehicular en Bucaramanga

5.3.1 Eventos extraordinarios durante el tiempo de muestreo

Además de las actividades domésticas e industriales cotidianas adjuntas al punto de muestreo, sucedieron eventos extraordinarios que pudieron alterar las

concentraciones de material particulado PM2.5 en alguna de las muestras recolectadas.

Se registraron los siguientes hechos:

1. En la tarde del martes 11 de noviembre se registró un incendio en una vivienda ubicada en la Calle 51 con Carrera 16 (Vanguardia Liberal 2014b).
2. Temporada de vacaciones (Diciembre a Enero), lo que implica un aumento considerable en la población del área metropolitana de Bucaramanga debido a su connotación como ciudad turística.
3. Se registraron más de 20 incendios forestales atendidos por el cuerpo de bomberos de Bucaramanga en diciembre de 2014 (Vanguardia Liberal 2014a).
4. Restricciones de tráfico pesado desde el 5 de diciembre hasta el 12 de enero en vías nacionales y al interior de las principales ciudades del país (MINTRANSPORTE 2014)

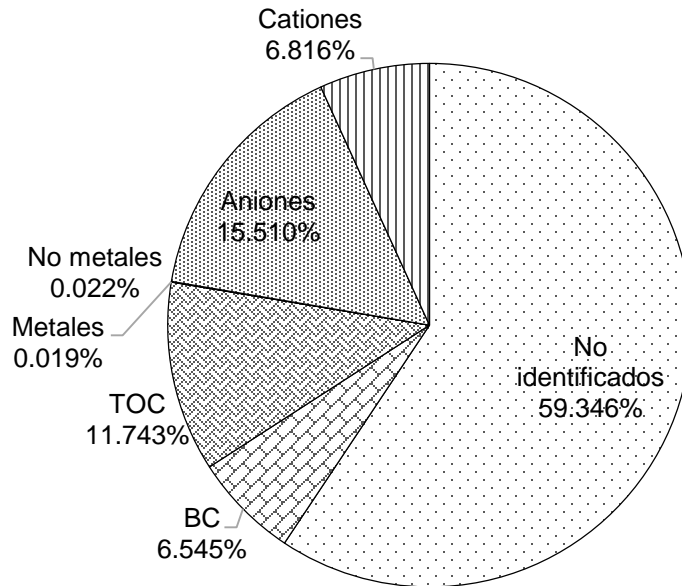
Entre febrero y abril de 2015 no se registraron eventos especiales que pudieran tener una afectación directa en la concentración del material fino PM2.5 en la zona de estudio.

Los incendios forestales son una fuente importante de material particulado grueso y fino, capaz de transportarse en el aire más que el material proveniente de otras fuentes, dependiendo de la magnitud del incendio. La época decembrina representa un aumento en la población, lo que se ve reflejado en el crecimiento acelerado del flujo vehicular tanto particular como público; adicionalmente, el transporte de vehículos pesados se ve restringido en estas fechas, lo que implica una mayor cantidad de vehículos con motor de gasolina que de vehículos con motor diesel. Para completar, a pesar de las restricciones impuestas a la venta de pólvora, aún es común que en esta época se observen fuegos artificiales legales e ilegales.

5.3.2 Composición de las muestras de PM2.5

Los análisis revelaron que en la totalidad de muestras de PM2.5 (Ver Gráfica 1), predomina la presencia de especies iónicas con 22,7%, el cual corresponde en un 15,5% y 6,8% para aniones y cationes respectivamente, consecutivamente se encontró al TOC con una predominancia de 11.7% en promedio. Por el contrario, se determinó que los componentes con menor porcentaje de aportación son los elementos en trazas, registrándose con porcentaje menor a 1%.

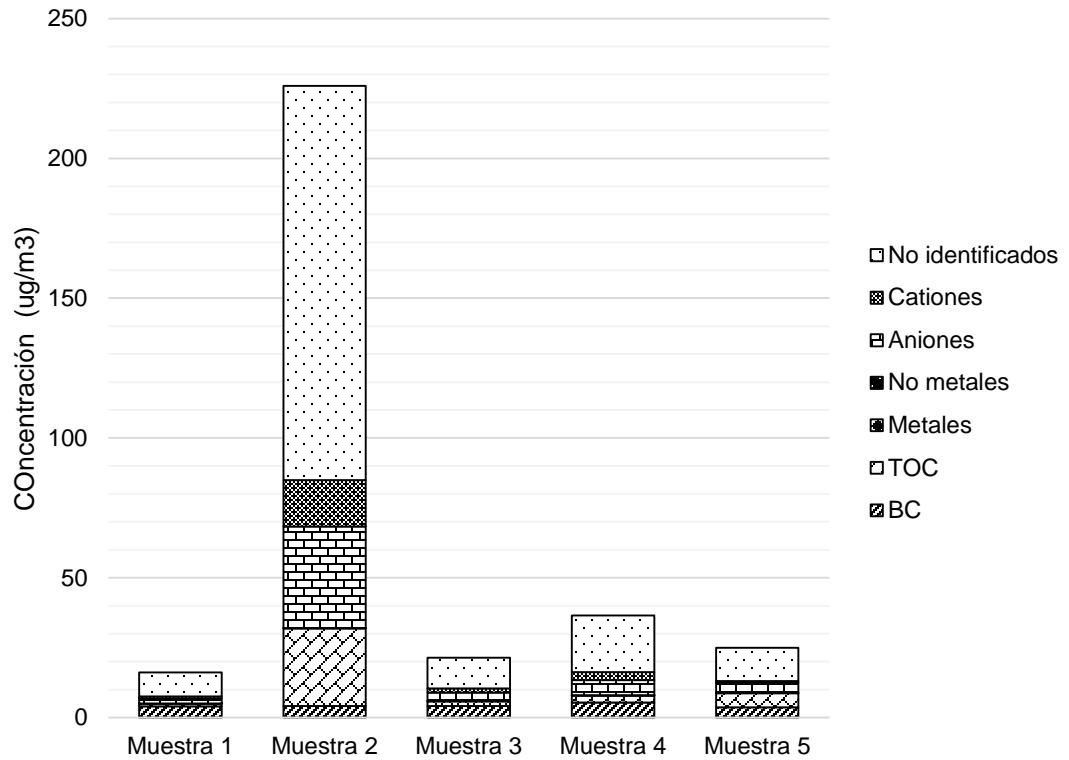
Gráfica 1. Composición porcentual promedio del PM2.5



En la Gráfica 2 se observa un porcentaje predominante en cada muestra perteneciente a especies no identificadas por los análisis químicos realizados en este estudio, dichos compuestos representan más de un 50% de masa de PM2.5 por lo que se puede considerar que dentro de éstas se encuentran especies iónicas no medidas, como iones de magnesio o iones de calcio, metales tóxicos y especies orgánicas derivadas de hidrocarburos (Stone et al. 2010)

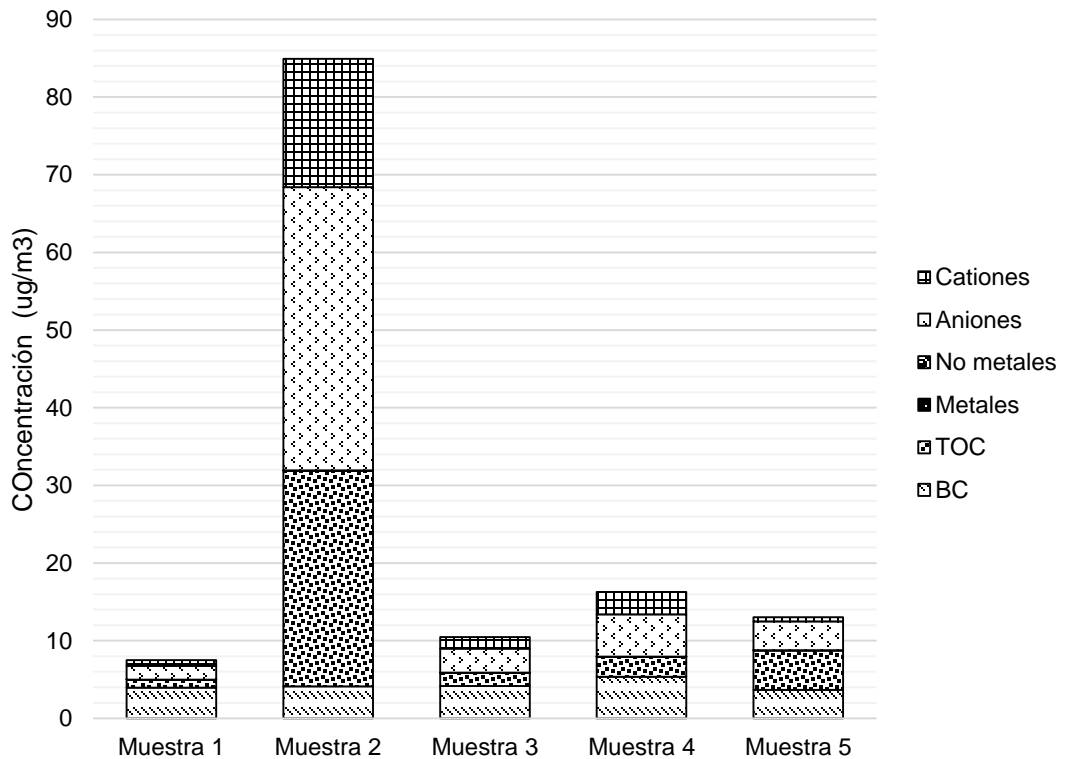
La presencia de aniones se debe principalmente al aporte por parte de los sulfatos, debido a la combustión incompleta de combustibles fósiles y las interacciones de sus subproductos en el ambiente.

Gráfica 2. Composición total del PM2.5 por muestra



Analizando la composición de las muestras sin tener en cuenta las especies no identificadas, puede observarse (Ver Gráfica 3) que no afecto el orden según concentración por muestra, en el cual sigue predominando la muestra 2 observando un aumento exagerado de TOC y aniones, en contraste, se observó que la muestra 1 es la de menor aportación, siendo constituida principalmente por BC. Anexo a esto, cabe resaltar que los porcentajes de participación por parte de los metales y no metales no se aprecia visualmente en ninguna de las muestras, ya que se obtuvieron aportes a la concentración por debajo del 1% en todas las muestras.

Gráfica 3. Composición del PM2.5 por muestra incluyendo solo las especies analizadas.



La muestra 2, evaluada entre las fecha de Noviembre 25 del 2014 a diciembre 25 del 2014, registra mediciones atípicas con respecto a un aumento abrupto en las concentraciones en la totalidad de los componentes del PM2.5, estos cambios están asociados a eventos extraordinarios ocurridos finalizando el año del 2014, tal como se mencionó anteriormente. A pesar de que el análisis de la composición de la muestra 2 arroja valores que corresponden a una masa total de muestra grande, no se debe descartar la posibilidad de que alguno de los filtros que hizo parte de esta muestra compuesta haya sido manejado incorrectamente o contaminado.

- **BC/TOC**

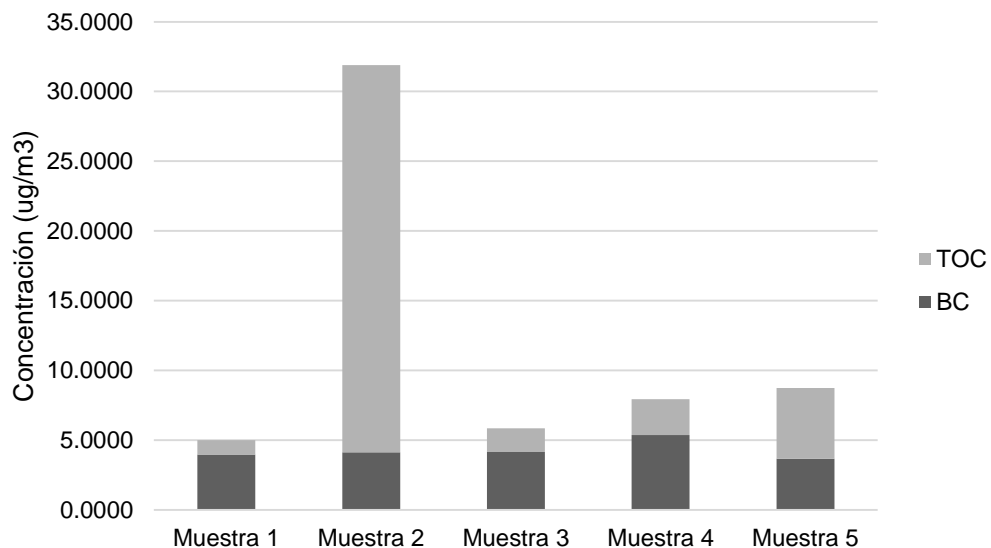
Al realizar un análisis global de las muestras se determinó que existió un mayor aporte de emisiones de TOC frente al BC (Ver Gráfica 4). No obstante, al examinar las muestras individualmente, se determinó que en 3 de las 5 de muestras el BC obtuvo una mayor contribución.

El análisis global genera mayor cantidad de TOC debido a que la muestra 2 tuvo una sobresaliente concentración del mismo, la cual fue atribuida a los eventos

extraordinarios ocurridos durante el tiempo de muestreo, estos implicaron una reducción en los vehículos diésel circundante, por consiguiente, una reducción considerable en la aportación del BC (MinTransporte 2014).

De igual forma, otra muestra en la que se obtuvieron concentraciones altas de TOC es la 5, ya que durante una fracción de tiempo en el que se realizaron las mediciones de esta muestra fue periodo vacacional (semana santa), en la cual se implantó una restricción a nivel nacional a los vehículos de carga, lo que implica una disminución en la tasa de vehículos diésel circundantes, por lo tanto, una reducción en las fuentes aportantes de BC en el PM (MINTRANSPORTE 2015).

Gráfica 4. Comparación entre las concentraciones de BC y TOC en las muestras.



- **Elementos en traza solubles en agua (Metales y no metales)**

Las concentraciones de metales y no metales fueron poco representativas con respecto a la masa total de PM_{2.5}, con una contribución aproximada del 0.019% para metales y del 0.022% para no metales (Ver Gráfica 5). En este estudio se realizó el análisis de 50 elementos en trazas solubles en agua, de acuerdo a la capacidad de análisis del laboratorio al cual se enviaron las muestras.

En la Gráfica 5 se puede observar que en la totalidad de muestras, los elementos no metálicos tuvieron concentraciones superiores. La especie predominante fue el azufre, asociado a las emisiones de vehículos con combustibles con altos contenidos de este elemento. Según la normativa Colombiana, el contenido máximo de azufre en el combustible diésel es de 50 ppm; en el caso de la gasolina no debe

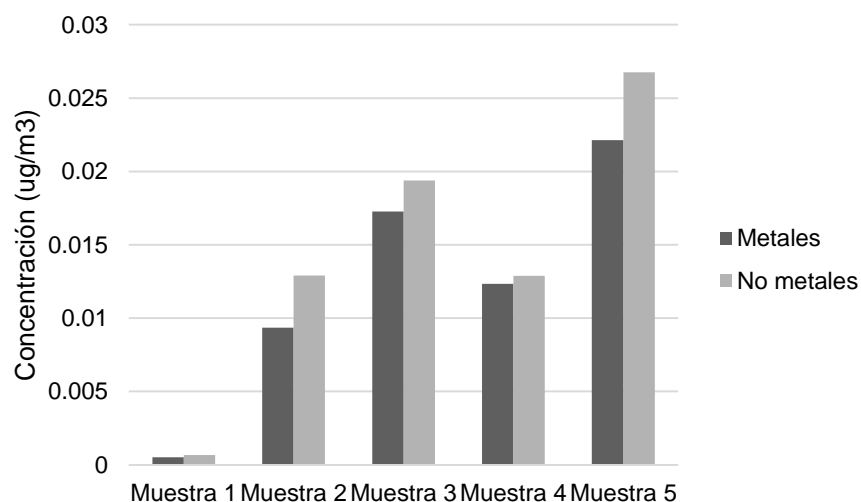
superar las 300 ppm de este elemento (Resolución 1111 de 2013). Sin embargo, a pesar de las reducciones tan significativas que se han logrado en el contenido de azufre en los combustibles en nuestro país, las emisiones de compuestos azufrados como el SO₄, aún siguen siendo altas.

Al contrastar lo anteriormente mencionado con la Unión Europea, la cual estipula que los límites máximos permisibles de azufre para combustibles diésel y gasolina son de 10 ppm (European Parliament and of the Council 2003) y con Estados Unidos, permite límites máximos de 15 ppm para vehículos diésel. Se demuestra que la norma en Colombia para calidad de aire no es lo suficientemente rigurosa, ya que se permite una cantidad 5 veces superior al máximo europeo.

La mayoría de los elementos metálicos medidos son atribuidos a las industrias productoras de acero, cobre, siderúrgicas, entre otras, de igual forma, el aumento de esto elementos se asocia a la presencia del material crostal (polvo de carretera o tierra).

Adicionalmente, los vehículos con motor diésel hacen un aporte considerable de metales pesados, tales como As, Hg y Se asociados a la quema del combustible, mientras que las emisiones de metales como Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn son atribuidos a la combustión de aceites lubricantes (Pulles et al. 2012).

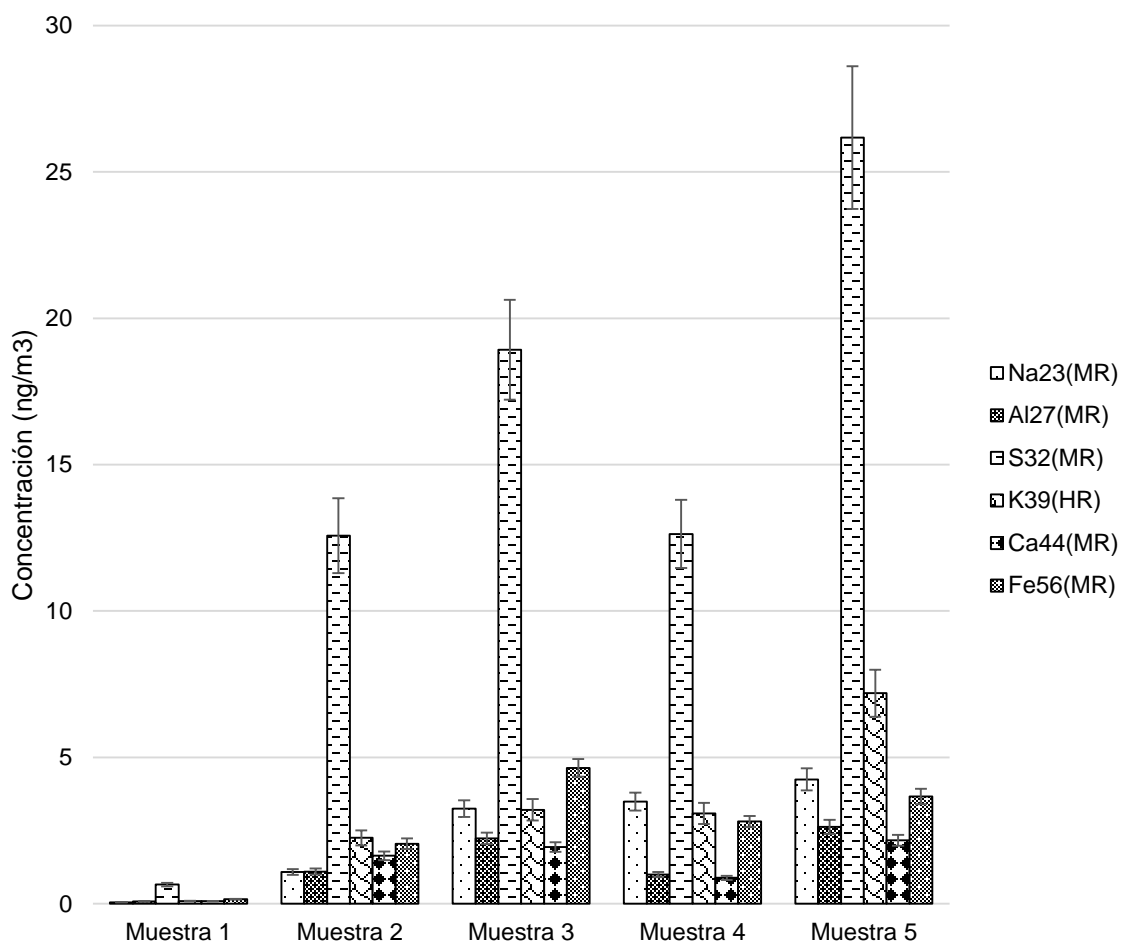
Gráfica 5. Comparación en las concentraciones de metales y no metales en las muestras de PM2.5.



Los resultados hallados en el análisis de los elementos en trazas arrojaron valores en nanogramos, lo que indica concentraciones muy bajas de los elementos dentro de las muestras; sin embargo, al ser utilizadas en el modelo las concentraciones de

los elementos más abundantes puede hacerse una buena estimación de la proveniencia del material particulado. En las cinco muestras se observaron como más abundantes (Ver Gráfica 6) los elementos S, K, Na, Fe, Al y Ca; cuya presencia en el PM se asocia principalmente con el uso de combustibles fósiles, en el caso del S y con la construcción, pavimentos y polvo resuspendido en el caso de los demás elementos. El hecho de que la distribución de estos elementos sea bastante uniforme en todas las 5 muestras indica que las fuentes de emisión del PM2.5 son muy similares, y lo que cambia es el volumen de emisión.

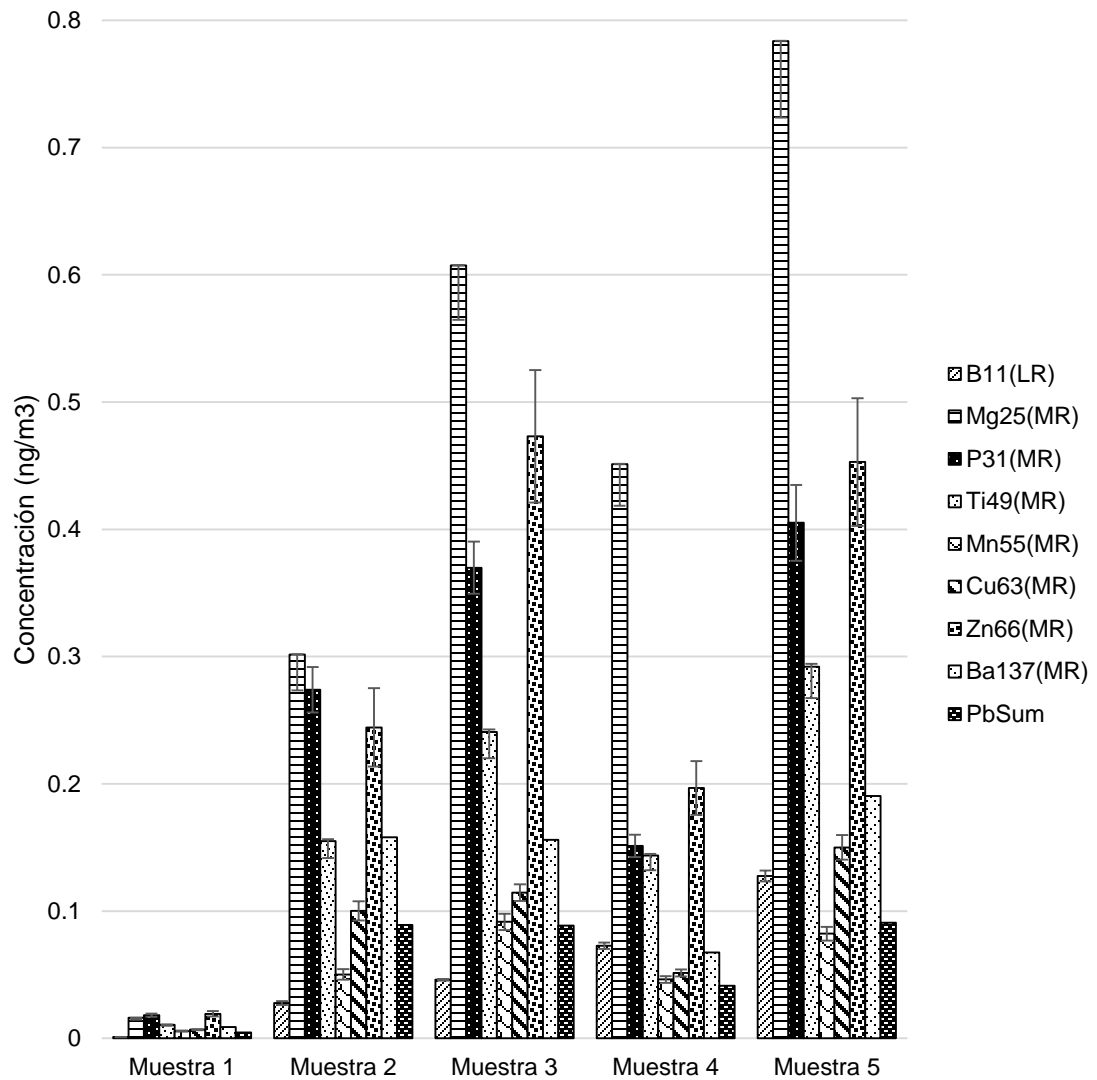
Gráfica 6. Concentraciones de elementos en trazas solubles en agua más abundantes en las muestras de PM2.5.



Seguidos a estos 6 elementos se encontraron Mg, B, P, Ti, Mn, Cu, Zn, Ba y Pb (Ver Gráfica 7), que aunque se encuentran en concentraciones muy bajas son buenos trazadores para la identificación de las fuentes de emisión. El Mg, B y P se relacionan generalmente con fuentes naturales como el polvo proveniente del

material cristal, la tierra y erosiones naturales de los terrenos mientras que el Ti, Zn y Cu se asocian con el tráfico de carretera, principalmente con la abrasión de frenos vehiculares y el Mn, Ba y Pb con procesos industriales de producción de materiales metálicos como el acero.

Gráfica 7. Concentraciones de elementos en trazas menos abundantes en las muestras de PM2.5.



- **Aniones y cationes**

Las concentraciones de especies iónicas fueron las de mayor contribución con respecto a la masa de PM2.5, con aportes aproximados al 22%. En este estudio se

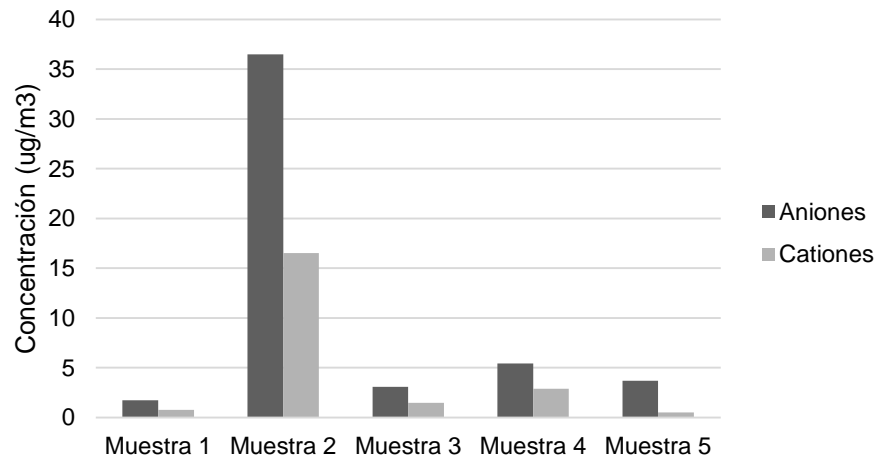
detectaron como especies aniónicas: nitratos, sulfatos, fosfatos y cloruros; y como especies catiónicas: iones de sodio, amonio y potasio.

Se puede observar en la Gráfica 8 que todas las muestras presentan una mayor aportación por parte de los aniones, asociado a las altas contribuciones de sulfatos, y nitratos. Las emisiones generadas por vehículos que utilizan diésel con alto contenido de azufre contribuyen a la formación de sulfatos, que representan un 59% de las especies iónicas.

Adicionalmente, los compuestos derivados del nitrógeno que reaccionan con facilidad en la atmosfera formando iones nitrato y amonio, nacen de reacciones secundarias que siguen a la combustión.

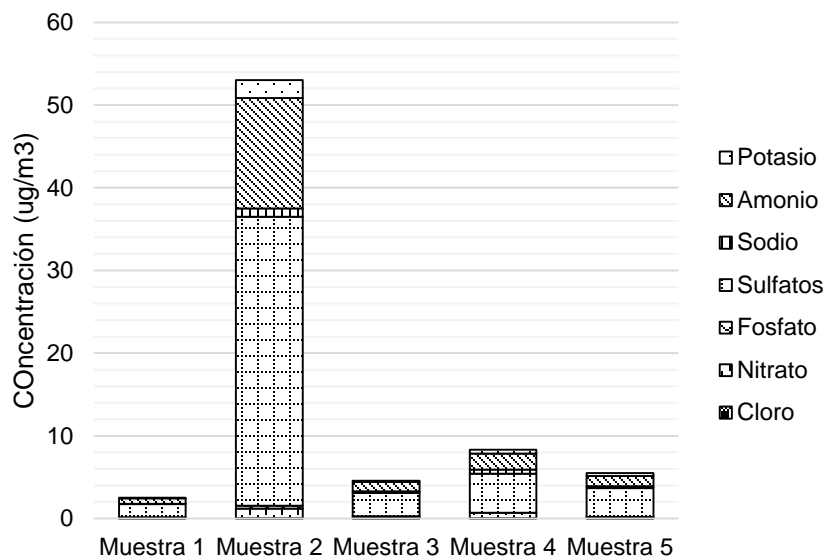
En la muestra 2, se generó un abrupto aumento en las concentraciones de especies iónicas, posiblemente asociadas con el uso de fuegos artificiales en la temporada navideña, los cuales liberan gases de dióxido de azufre (Seidel & Birnbaum 2015) que al interactuar con el medio ambiente reacciona formando sulfatos (Wang et al. 2007).

Gráfica 8. Comparación de las concentraciones de aniones y cationes en las muestras de PM2.5.



En la Gráfica 9, se observa que las especies con mayores contribuciones son los iones sulfato, amonio y nitrato, con aportes en promedio de 63%, 26% y 3%, respectivamente. No obstante, en la gráfica se permite apreciar un aumento de la concentración de iones potasio en la muestra 2, lo que podría estar relacionado a la quema de biomasa, asociada a los incendios forestales nombrados anteriormente.

Gráfica 9 Concentración de especies iónicas por muestra



5.3.3 Condiciones meteorológicas durante el periodo de muestreo

Los datos de las condiciones meteorológicas medidas durante los 4 meses de muestreo fueron almacenados por la estación meteorológica ubicada en la estación “CENTRO” de la CDMB (Corporación autónoma regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga), ubicada en la Diagonal 15 con Calle 34 terraza noroccidental.

Los datos promedio mensuales de radiación solar, temperatura, velocidad del viento, precipitación, presión y humedad relativa para cada muestra se resumen en la Tabla 4.

Tabla 4. Condiciones meteorológicas en el punto de muestreo

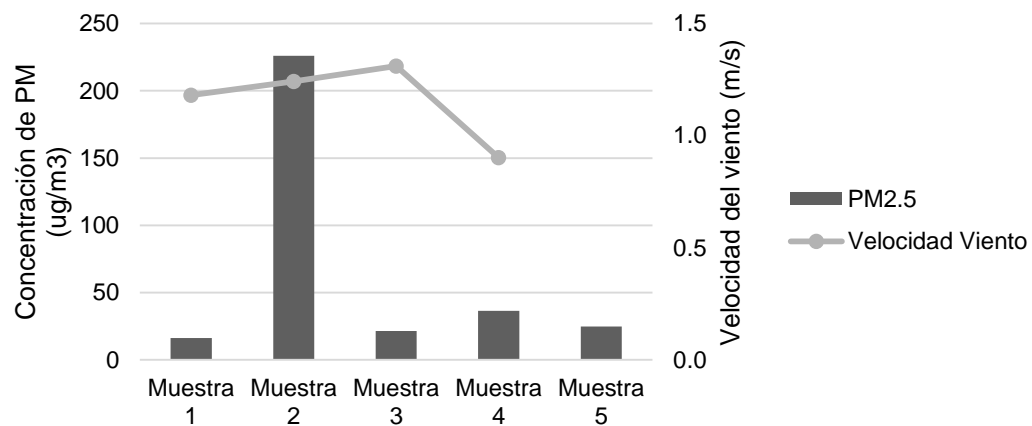
Muestra	Radiación Solar (Watt/m2)	Temperatura (°C)	Velocidad Viento (m/s)	Precipitación (mm)	Presión (atm)	Humedad relativa (%)
1	156.28	23.16	1.18	7.11	0.90	85.50
2	178.74	23.57	1.24	1.42	0.90	83.94
3	195.05	24.48	1.31	2.27	0.90	76.95
4	193.23	24.46	0.90	2.31	0.90	46.06
5	Datos no válidos					

Fuente: Autoras, datos proporcionados por la CDMB

Como se puede observar, las condiciones meteorológicas durante los meses de muestreo no presentaron cambios relevantes, en cuanto a radiación solar, presión atmosférica y temperatura. Los cambios más representativos se dieron en términos de precipitación, en el periodo de recolección de la muestra 1, y humedad, en el periodo de recolección de la muestra 4. Los datos correspondientes al periodo de recolección de la muestra 5 no son válidos debido a problemas técnicos, por lo cual no fueron tenidos en cuenta para este análisis.

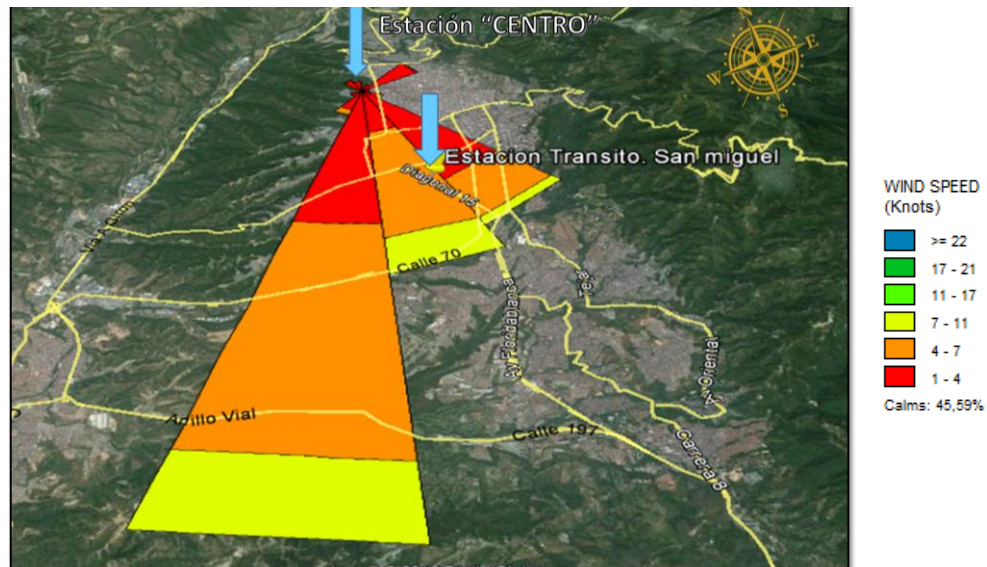
Las Gráfica 10, 11 y 12 muestran la comparación entre la concentración de PM2.5 con las variables meteorológicas velocidad del viento, humedad relativa y precipitación, respectivamente. A excepción de la muestra 2, se puede observar una ligera relación indirecta entre la velocidad del viento y la concentración total de PM2.5, aunque debido al número limitado de muestras no es posible concluir nada contundente. Sin embargo, se espera que efectivamente esta relación sea inversamente proporcional, teniendo en cuenta que entre mayor sea la velocidad del viento mejor será la dispersión del PM2.5.

Gráfica 10. Relación de la velocidad del viento con la concentración de PM2.5 durante el periodo de muestreo.



Según un estudio realizado con anterioridad (Gómez & Álvarez 2016), se determinó que la dirección predominante de los vientos en Bucaramanga es Sur – Occidente (Ver Ilustración 10), esto permite relacionar las fuentes móviles y fijas de las zonas norte y centro de la ciudad con la concentración de PM2.5 en el punto de muestreo, así, el tráfico vehicular que transita desde estos sectores puede tener una influencia en los efectos negativos que puedan presentarse en la salud de la población de la zona de estudio.

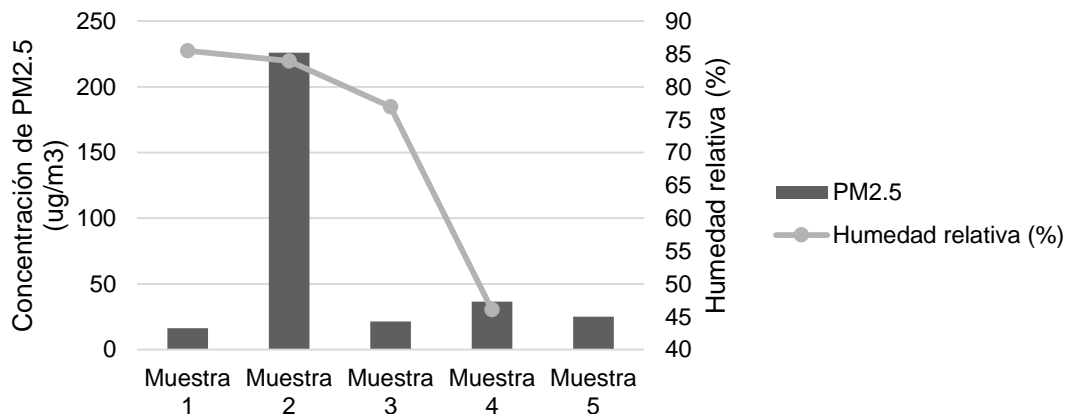
Ilustración 10. Rosa de los vientos, A partir de Estación meteorológica "CENTRO" de la CDMB



Fuente: (Gómez & Álvarez 2016)

En el caso de la humedad relativa la relación es muy similar, aunque igualmente no muy clara, siempre y cuando se omita la muestra 2. Esta relación es congruente con lo que reporta la literatura, debido a que entre mayor la cantidad de agua en el aire mejor la capacidad de retener material particulado fino suspendido en el aire.

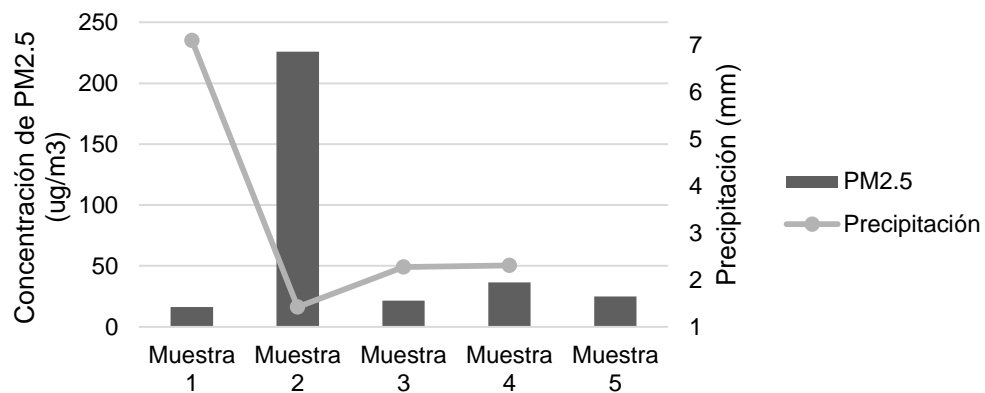
Gráfica 11. Relación de la humedad relativa con la concentración de PM2.5 durante el periodo de muestreo.



Finalmente, en el periodo de tiempo de recolección de la muestra 1 se reportó un acontecimiento importante de precipitación, lo que produjo una concentración bastante baja de PM2.5 para esta muestra. No obstante, la muestra 2 de nuevo

rompe la tendencia esperada, lo que puede estar asociado con acontecimientos muy particulares que sucedieron durante los días de recolección de esta muestra, como se mencionó anteriormente. El efecto de la precipitación sobre la concentración de PM_{2.5} debe ser menos notorio en comparación con la concentración de PM₁₀, ya que es más probable que las partículas más grandes sean removidas más fácilmente por las gotas de lluvia, cuyos diámetros aerodinámicos superan notoriamente los 2.5 µm.

Gráfica 12. Relación de la precipitación con la concentración de PM_{2.5} durante el periodo de muestreo.



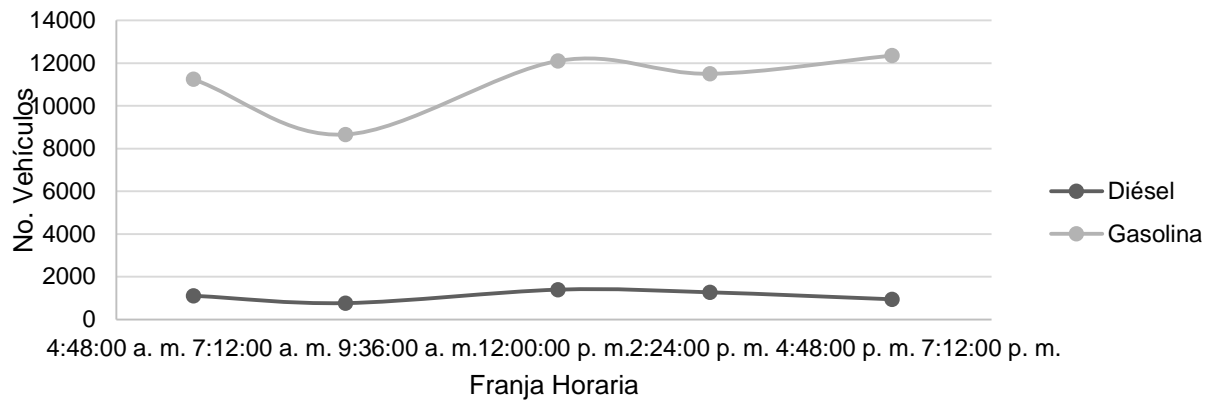
En resumen, los 5 datos disponibles no permiten concluir nada de manera contundente, especialmente para el periodo de muestreo en el que se recolectó la muestra 2. Sin embargo es posible observar ligeramente tendencias similares a las esperadas.

- **Análisis de los resultados del aforo vehicular.**

En la Gráfica 13 se presenta el promedio de vehículos que circularon por la zona de ubicación del equipo muestreador. El promedio vehicular se calculó teniendo en cuenta la frecuencia de carros en franjas horarias de dos horas cada una, durante tres días de la semana. En este período circularon aproximadamente 61.324

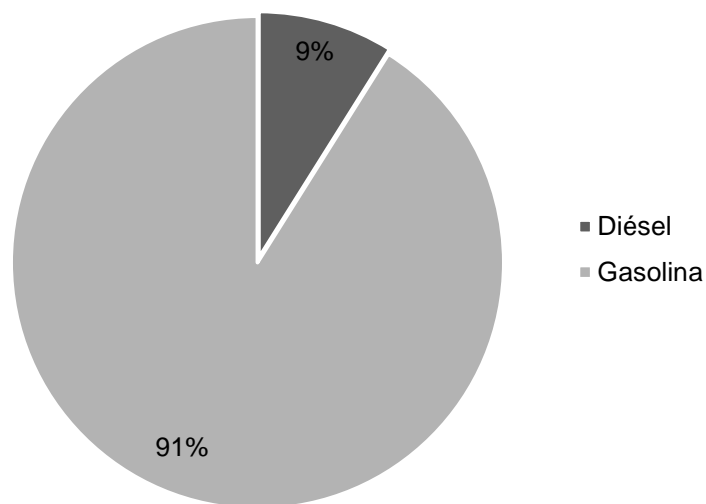
vehículos por día. Los valores registrados en las gráfica 13 corresponden al conteo realizado separando los vehículos según el tipo de combustible utilizado.

Gráfica 13. Promedio diario de vehículos por tipo de motor



Los buses convencionales, buses del Sistema de Transporte Masivo “Metrolínea” y vehículos pesados (camiones, vehículos articulados) fueron considerados como vehículos con motores diésel. Los vehículos particulares, motos y taxis se consideraron como vehículos con motores a gasolina. En la Gráfica 14 se evidencia la marcada diferencia entre el número de vehículos con motor de gasolina y diésel. Esta diferencia se hace más marcada al considerar las motocicletas como vehículos con motor a gasolina.

Gráfica 14. Distribución promedio de vehículos por tipo de motor.



No obstante, al comparar los resultados del conteo vehicular con los arrojados por el modelo de la EPA, CMB (Ver Gráfica 14), se observa poca congruencia, ya que según el modelo CMB, el aporte de los motores diésel a la concentración de PM_{2.5} en la zona de estudio es mayor al de los motores a gasolina, a pesar de que como se observa en la gráfica 14, el número promedio de vehículos diésel es mucho menor. Sin embargo, según la literatura, el aporte de los motores de gasolina es más notorio en partículas con diámetros en la escala nanométrica, por las condiciones de la combustión y el tipo de combustible, mientras los motores diésel se incluyen entre las principales fuentes de emisión de material particulado PM_{2.5}. Entre más finas las partículas, menor es el aporte a la masa total del PM, y mayor el aporte al número de partículas. En este estudio la determinación de la concentración de PM_{2.5} se hizo por medio de análisis gravimétrico, por lo tanto se desconoce la concentración en unidades de número de partículas por unidad de volumen.

5.4 Cuantificación del aporte de las fuentes de material particulado PM_{2.5} en las zonas de influencia al punto de muestreo por medio de la aplicación de los modelos de receptores seleccionados.

5.4.1 Análisis de resultados arrojados por los modelos de receptores aplicados con anterioridad.

La contribución de cada fuente a las concentraciones de PM_{2.5} se evaluó cuantitativamente por medio de la aplicación del modelo de la EPA, Chemical Mass Balance (CMB). Dicho modelo presenta unos parámetros de diagnóstico estadístico para cada muestra, garantizando la confiabilidad de los datos arrojados por el modelo, estos parámetros son: el coeficiente R square debe ser mayor a 0.80. El valor de Chi cuadrado debe mantenerse en un rango de 0 y 2. El porcentaje de masa del PM_{2.5} debe oscilar entre el 80% y 120% según lo sugerido por la EPA.

De acuerdo con lo anteriormente mencionado, los datos del modelo cumplieron con los parámetros estadísticos. El coeficiente de R square se mantuvo en 1 para todas las muestras; El valor de Chi cuadrado se mantuvo en un rango de 0.09 y 0.15, y por último, el porcentaje de masa del PM_{2.5} osciló entre 83.22% y 117.58%.

Según la Gráfica 16, las fuentes predominantes de PM_{2.5} en la zona de estudio son: vehículos con motor diésel, superando el 22% del aporte total de fuentes, en más del 80% de las muestras. Seguidamente se encuentran el polvo de construcción con un 21% de aporte, los vehículos con motores a gasolina, con un 12% de aporte, las emisiones de cocinas con base en carbón, con un 11% de aporte.

Las muestras 1, 3, 4 y 5 (Ver Gráfica 1 Gráfica 15) mostraron patrones casi idénticos en cuanto a la distribución del aporte de las diferentes fuentes de PM_{2.5}, mientras la muestra 2 fue totalmente diferente. Tal como se explicó antes, es muy probable que este comportamiento se pueda explicar por los diferentes acontecimientos extraordinarios que sucedieron en el periodo de muestreo en el que se recolectó esta muestra. De igual forma, no se puede descartar la posibilidad de que haya habido mal manejo de alguno de los filtros incluidos en la muestra compuesta 2, lo cual es prácticamente imposible de comprobar.

Teniendo en cuenta que la zona de estudio no es una zona industrial, y que el flujo de vehículos es bastante alto (cerca de 10000 vehículos al día), los resultados en general (para las muestras 1, 3, 4 y 5) son concordantes con la realidad. La realización de obras civiles en la Diagonal 15 a partir de los primeros meses de 2015, explica la importancia del polvo de construcción como otra fuente significativa, y la gran cantidad de restaurantes y asaderos en la zona explica el gran aporte de cocinas con base de carbón.

Para la muestra 2 los resultados de la aplicación del modelo CMB mostraron como principal fuente de PM_{2.5} a los vehículos con motor a gasolina, en segunda lugar a las pinturas en aerosol, y finalmente a la quema de biomasa en tercer lugar. Este periodo de tiempo correspondió a parte de la temporada de vacaciones, en la que Bucaramanga recibió más o menos 4797 turistas (MinCIT 2015); adicionalmente se restringió el paso por esta zona de tráfico pesado desde el 5 de diciembre hasta el 12 de enero (MinTransporte 2014), razones por las cuáles el aporte a la concentración de PM_{2.5} de vehículos con motores a gasolina superó el de los vehículos con motor diesel, con un valor del 20%.

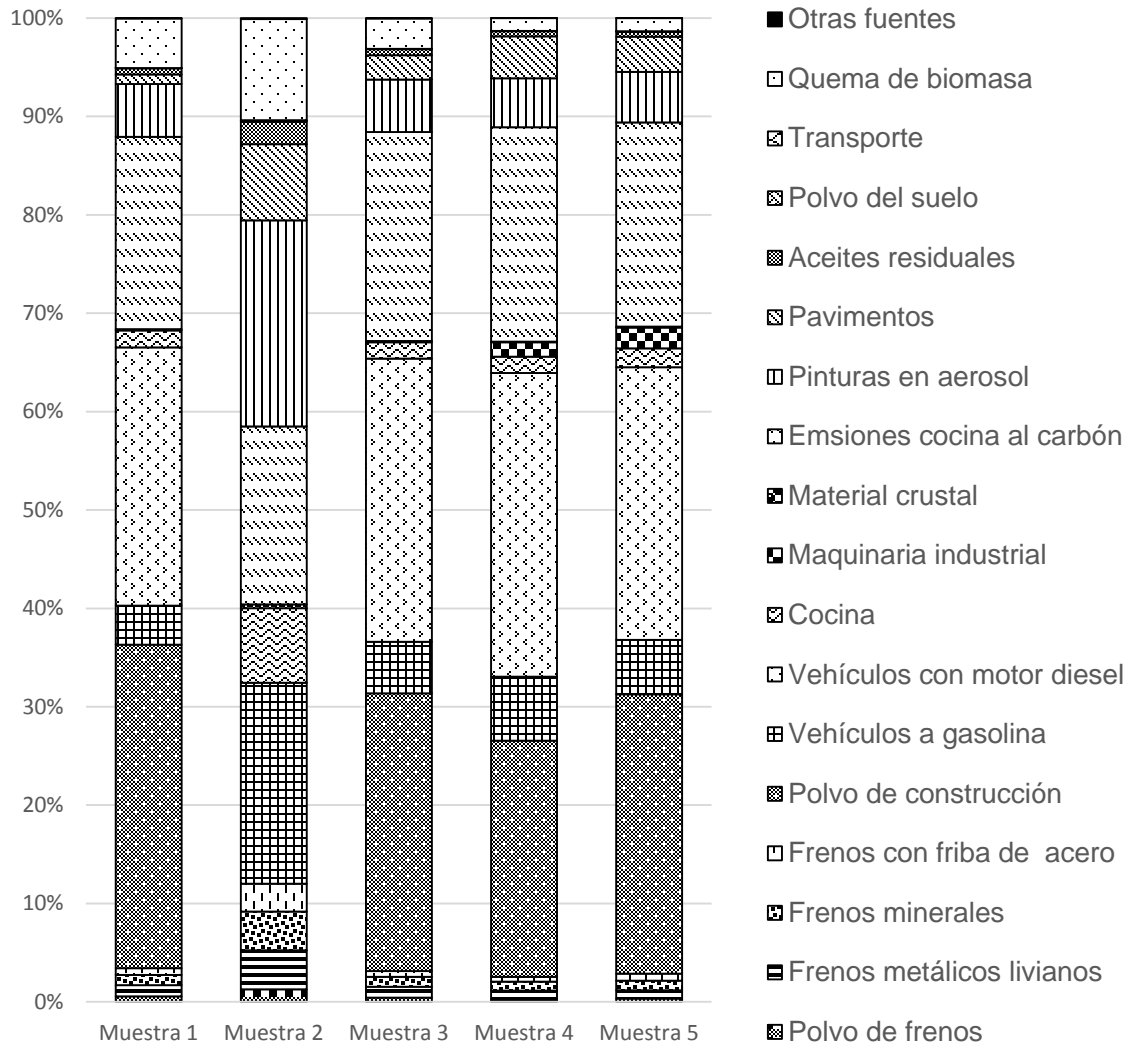
El aporte correspondiente a las pinturas en aerosol fue del 21%, lo que puede atribuirse a la gran cantidad de locales de reparación y revisión de motocicletas que se ubican en la zona de estudio, así como de talleres de tapicería y pintura de muebles, y empresas de reparación de estanterías y muebles metálicos, sectores que se pueden asociar con esta fuente. Adicionalmente, diciembre es una temporada de mayores ventas de productos y servicios.

Adicionalmente, tal como se reportó en secciones anteriores, hubo reportes de varios incendios forestales en este periodo, lo que explica el 10% de aporte de la fuente de quema de biomasa encontrado para la muestra 5.

Finalmente, relacionando la dirección de viento predominante (Sur-Occidente) mencionada anteriormente se infiere que las concentraciones de PM_{2.5} pueden verse afectadas por las fuentes de emisión localizadas al Nor-Oriente de la ciudad,

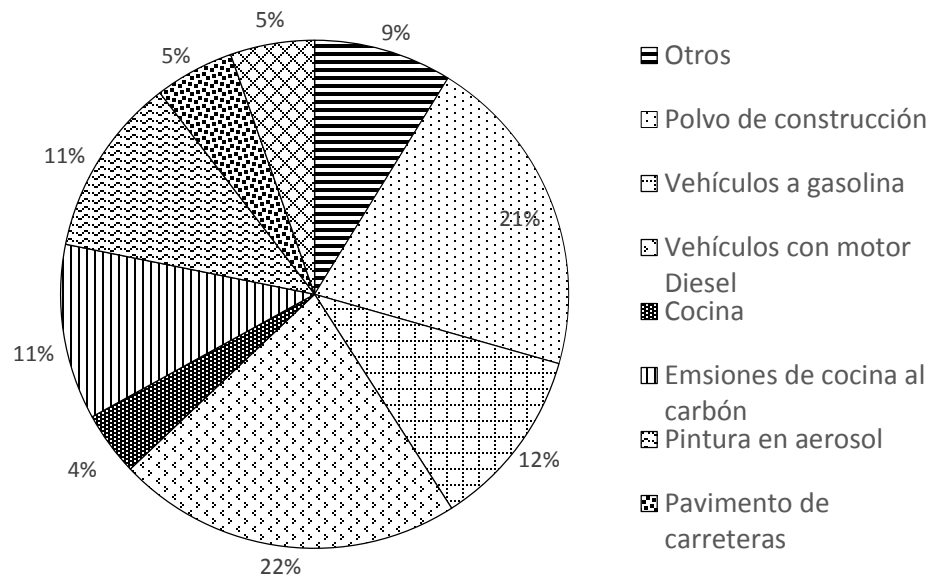
así mismo se puede generar una mayor afectación a la zona residencial ubicada al sur del punto de muestreo debido a la gran cantidad de empresas que utilizan aerosoles y otros productos contaminantes por este sector.

Gráfica 15. Contribución porcentual de las diferentes de fuentes de emisión por muestra compuesta de PM2.5.



En promedio para las 5 muestras, la Gráfica 16, muestra que el aporte general de las fuentes móviles fue de más del 34%, con aproximadamente un 22% para vehículos con motor diésel, y un 12% para vehículos con motor a gasolina, seguidos por el polvo de construcción, con un aporte del 21%, las emisiones de cocinas a base de carbón con el 11%, y las pinturas en aerosol con el 11%.

Gráfica 16. Contribución promedio de las diferentes fuentes al PM2.5 recolectado durante todo el periodo de muestreo.



Con base en estos resultados, se puede afirmar que por lo menos para la zona de estudio, si se quiere minimizar el riesgo para la salud humana por exposición a PM2.5, se deben establecer normas y estrategias conducentes a minimizar el flujo vehicular y mejorar las emisiones, tales como:

- Hacer que el control técnico mecánico obligatorio se deba realizar anualmente (Ley 1383 de 2010), y con mayor rigor en vehículos con motores diésel, y de muchos años de uso.
- Evaluar los niveles permisibles de emisiones contaminantes de las fuentes móviles terrestres (Resolución 910 de 2008) y hacerlos más estrictos y detallados, que incluyan material particulado, y no una medida de opacidad, como se hace actualmente. Puede tomarse como referencia para vehículos la Guía de referencia para emisiones US-EPA (EPA 2011)
- Mejorar los procesos de refinación de los combustibles, de manera que mejore la calidad de la combustión.
- Minimizar el contenido de azufre en los combustibles, hasta alcanzar estándares de países desarrollados.
- Favorecer el uso de mezclas de combustibles fósiles con biocombustibles, lo que ha probado ser una estrategia exitosa para minimizar las emisiones de PM2.5 (Magara- Gomez et al. 2012).

- Exigir de manera responsable estudios de impacto ambiental a obras civiles importantes, de manera que se puedan implementar planes de contingencia para proteger la salud de las personas que se puedan afectar en la zona de influencia de estas obras.
- Revisar los planes de ordenamiento territorial (POT), de manera que se evite la presencia de empresas medianas o pequeñas con actividades relacionadas con el uso de pinturas en aerosol en zonas residenciales, o exigir que cumplan con normas estrictas de emisión de contaminantes atmosféricos.
- Motivar a restaurantes y asaderos a utilizar otro tipo de combustibles para sus cocinas en lugar del carbón. Aunque este cambio seguramente se verá obstaculizado por razones socio-culturales, debe tratar de implementarse para minimizar las emisiones de PM_{2.5}. La combustión no controlada de carbón es una fuente muy importante de emisión de este contaminante.
- Diseñar planes de movilidad basados en vías alternativas de manera que se evite la concentración de altos volúmenes de vehículos en una sola zona, teniendo en cuenta que el principal aporte a las concentraciones de PM_{2.5} lo hacen los vehículos con motores diésel.
- Mejorar los sistemas de transporte masivo, de manera que se motive a la gente a que los utilice con mayor frecuencia, en lugar de vehículos particulares, taxis o mototaxis. Las emisiones de un solo bus no alcanzan a igualar las emisiones de 10 o 15 vehículos particulares.

5.4.2 Correlación de los resultados con la bibliografía pertinente.

A pesar de que los resultados de la aplicación de CMB pueden variar según la ubicación espacial del sitio de muestreo debido a la diversidad de fuentes, topografía y condiciones ambientales, económicas y sociales del mismo, estudios previos realizados en ciudades de mayor tamaño han arrojado resultados similares, concluyendo que la principal fuente de emisión de material particulado es el tráfico vehicular.

Como puede verse en la tabla 5, tal es el caso de Tiajin, ciudad localizada al norte de China, con una población 13 veces mayor que la de Bucaramanga (13 millones de habitantes). Un estudio de calidad de aire desarrollado en esta ciudad determinó que la principal fuente de contaminación por material particulado fueron los vehículos con motor diésel. En ciudades como Bagdad (Irak) y Lahore (Pakistán), el resultado de estudios similares de aplicación de modelos de receptores fue que los vehículos a gasolina son los principales aportantes a la concentración de PM,

esto debido a que el uso de vehículos con motor diésel no es común en estos lugares. Esto indica que sin importar la población, nivel de desarrollo, ubicación, entre otras, las fuentes móviles son las principales fuentes de emisión de material particulado respirable a nivel urbano.

Tabla 5. Bibliografía relacionada

Título	Autor (es)	Año de publicación	Resultados (Fuentes identificadas)
Fuentes de contribución del PM2.5 al aerosol carbonoso en Bagdad, Iraq	<i>Hussein et. al</i>	2015	<ul style="list-style-type: none"> • Vehículos con motor a gasolina (37%) • Vehículos con motor diésel (17%) • Quema de biomasa (5%) • Otros (41%)
Caracterización química y determinación fuentes de contribución al PM fino y grueso en Lahore, Pakistán	<i>Stone et. al</i>	2010	<ul style="list-style-type: none"> • Vehículos con motor a gasolina (53%) • Vehículos con motor diésel (6%) • Quema de biomasa (10%) • Otros (31%)
Fracción individual y grupal de la entrada de material particulado diésel en microambiente de parada de buses	<i>Xu, J et. al</i>	2015	<ul style="list-style-type: none"> • Vehículos con motor diésel (28%) • Material cristal (26%) • Combustión del carbón (22%) • Otros (24%)

Fuente: Autoras

6 CONCLUSIONES

Por medio de la aplicación del modelo de receptores Chemical Mass Balance (CMB), se determinó que las principales fuentes de material particulado PM_{2.5} en la zona de alto tráfico vehicular en Bucaramanga seleccionada fueron los vehículos con motor diésel con un aporte del 22%, los vehículos con motor a gasolina con un 12%, el polvo de construcción con un aporte del 21%, las emisiones de cocinas a base de carbón con el 11%, y las pinturas en aerosol con el 11%.

Se determinó la composición química del material particulado PM_{2.5} en la zona de estudio, teniendo un 7% de BC, un 11% de OC, un 14% de iones sulfatos, un 6% de iones amonio, un 0,6% de iones nitratos, un 1,4% de otras especies iónicas, un 1% de elementos en trazas y un 59% de otras especies no identificadas.

De acuerdo al limitado número de muestras disponibles y a los parámetros de caracterización seleccionados, se aplicó el modelo CMB por ser el único que se ajustó a las condiciones de este estudio.

La concentración de PM_{2.5} durante el periodo de muestreo fue influenciada principalmente por variaciones en el flujo vehicular debido a la temporada de vacaciones; por cambios en actividades comerciales ocasionados por vacaciones igualmente, y por el desarrollo de obras civiles durante este periodo de tiempo. La variación temporal en variables meteorológicas como la humedad relativa y la precipitación también tuvieron una leve influencia sobre la concentración de PM_{2.5}, aunque este efecto sería más notorio en las concentraciones de PM₁₀.

A pesar de que el número de vehículos con motor a gasolina supera notablemente el de vehículos con motor diésel, el mayor aporte a la concentración de PM_{2.5} en la zona seleccionada lo hicieron los vehículos con motor diésel. Esto se explica porque los motores a gasolina emiten principalmente partículas en el rango de nanómetros.

Finalmente, con base en los resultados obtenidos, se concluye que es necesaria la aplicación de estrategias de mejoramiento para reducir las emisiones de PM_{2.5} en Bucaramanga, como la evaluación a la normativa vigente para calidad de aire, mejoras en la refinación de los combustibles, exigencia de controles más

exhaustivos al estado de los vehículos, incentivar el uso de mezclas de combustibles fósiles con biocombustibles, una revisión exhaustiva del POT local y la realización de campañas de concientización para la población con respecto a la contaminación atmosférica.

7 RECOMENDACIONES

- Para aplicar modelos de receptores como el PMF o el UNMIX, se recomienda contar con la cantidad suficiente de muestras. Por esto se sugiere realizar muestreos más frecuentes y por periodos de tiempo más largos.
- En el caso de cualquiera de los modelos, incluyendo el CMB, es recomendable caracterizar la mayor cantidad posible de especies químicas en el PM2.5.
- Es necesario que tanto autoridades ambientales como gubernamentales prioricen la creación de políticas enfocadas a controlar las emisiones de material particulado fino, contaminante atmosférico al cual no se le ha dado la importancia que se merece. Estudios como este ilustran tanto a comunidad académica como público en general sobre el riesgo al que se exponen cuando las concentraciones de PM2.5 superan los valores límites establecidos en los estándares de calidad del aire a nivel local, nacional e internacional.
- La contaminación del aire está directamente relacionada con la calidad de vida de los seres humanos en núcleos urbanos principalmente. Por esta razón es indispensable realizar estudios más específicos que permitan conocer las correlaciones existentes entre otros contaminantes diferentes al PM2.5 y efectos particulares sobre la salud humana. De esta manera será posible implementar medidas correctivas o preventivas a las fuentes de emisión de estos contaminantes de manera más efectiva.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía Mayor de Bogotá & Universidad de Los Andes, 2009. Plan Decenal de Descontaminación de Bogotá.
- Anón, 2003. Final report review of source apportionment techniques for airborne particulate matter prepared for california air resources board and the california environmental protection agency contract # 00-332 prepared by michael j . Kleeman university of california. , (February).
- Baklanov, A., Molina, L.T. & Gauss, M., 2016a. Megacities, air quality and climate. *Atmospheric Environment*, 126, pp.235-249. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231015305665> [Accedido diciembre 15, 2015].
- Baklanov, A., Molina, L.T. & Gauss, M., 2016b. Megacities, air quality and climate. *Atmospheric Environment*, 126, pp.235-249.
- Bruinen de Bruin, K., Yli-Tuomi, K. & Jantunen, M., 2006. A review of source apportionment techniques and marker substances available for identification of personal exposure, indoor and outdoor sources of chemicals. *European Commission*, p.54.
- Castro Ortiz, H. & Rojas, N.Y., 2015. Physico-chemical characterization of particulate matter and application of receptor models in a town near to a mining project in the department of the cesar. Disponible en: http://casap.com.co/documentos/memorias_13_agosto/400pm_salon4_castro_h.pdf.
- Chan, T.W. & Mozurkewich, M., 2007. Application of absolute principal component analysis to size distribution data: identification of particle origins. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7(3), pp.887-897. Disponible en: <http://www.atmos-chem-phys.net/7/887/2007/?FrameEngine=false> [Accedido enero 19, 2016].
- Chen, P. et al., 2015a. Assessment of heavy metal pollution characteristics and human health risk of exposure to ambient PM_{2.5} in Tianjin, China. *Particuology*, 20, pp.104-109. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674200114001540> [Accedido julio 21, 2015].

- Chen, P. et al., 2015b. Assessment of heavy metal pollution characteristics and human health risk of exposure to ambient PM_{2.5} in Tianjin, China. *Particuology*, 20, pp.104-109.
- CMB, U., 2004. EPA-CMB8.2 Users Manual. , p.123.
- EPA, 2015a. Health PM_{2.5}. Disponible en: <http://www3.epa.gov/airquality/particlepollution/health.html>.
- EPA, 2011. Light-Duty Vehicle and Light-Duty Truck - Clean Fuel Fleet Exhaust Emission Standards. Disponible en: <http://www3.epa.gov/otaq/standards/light-duty/ld-cff.htm>.
- EPA, 2015b. Material Particulado Pm_{2.5}. Disponible en: <http://www.epa.gov/airquality/particlepollution/designations/basicinfo.htm>.
- EPA, 2015c. Material Particulado Pm_{2.5}.
- EPA, 2012. Oficina de Investigación y el Desarrollo. Disponible en: <http://www2.epa.gov/aboutepa/about-office-research-and-development-ord>.
- EPA, 2013a. Receptor Modeling.
- EPA, 2013b. Receptor Modeling. Disponible en: <http://www.epa.gov/scram001/receptorindex.htm>.
- EPA, P.-, 2014. EPA Positive Matrix Factorization (PMF) 5.0 User Guide.
- European Parliament and of the Council, 2003. Euro 5. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1435618704689&uri=CELEX:32003L0017>.
- Feng, Y. et al., 2009. Characteristics of organic and elemental carbon in PM_{2.5} samples in Shanghai, China. *Atmospheric Research*, 92(4), pp.434-442. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809509000040> [Accedido diciembre 21, 2015].
- Fuzzi, S. et al., 2006. Critical assessment of the current state of scientific knowledge, terminology, and research needs concerning the role of organic aerosols in the atmosphere, climate, and global change. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 6(7), pp.2017-2038.

- Gómez, S. & Álvarez, I., 2016. *Estudio de la exposición a material particulado pm2.5 a nivel intra- y extra-domiciliario en una zona de la ciudad de Bucaramanga*. Universidad Pontificia Bolivariana.
- Hamad, S.H. et al., 2015. Source apportionment of PM2.5 carbonaceous aerosol in Baghdad, Iraq. *Atmospheric Research*, 156, pp.80-90. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S016980951500006X>.
- Henry, R.C., 2005a. Duality in multivariate receptor models. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 77(1-2), pp.59-63.
- Henry, R.C., 2005b. Duality in multivariate receptor models. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 77(1-2), pp.59-63. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169743905000584> [Accedido diciembre 12, 2015].
- IMPROVE, 2011. Spatial and seasonal patterns and temporal variability of haze and its constituents in the United States. *Interagency Monitoring of Protected Visual*, V.
- Instituto Nacional de Ecología, 2009. Guía metodológica para la estimación de emisiones de PM2.5.
- Javid, M. et al., 2015. Dry deposition, seasonal variation and source interpretation of ionic species at Abali, Firouzkouh and Varamin, Tehran Province, Iran. *Atmospheric Research*, 157, pp.74-90. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809515000356> [Accedido enero 20, 2016].
- Kroll, J.H. & Seinfeld, J.H., 2008. Chemistry of secondary organic aerosol: Formation and evolution of low-volatility organics in the atmosphere. *Atmospheric Environment*, 42(16), pp.3593-3624.
- Lee, J.Y. et al., 2012. Quantification and seasonal pattern of atmospheric reaction products of gas phase PAHs in PM2.5. *Atmospheric Environment*, 55, pp.17-25. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231012002397> [Accedido febrero 19, 2015].
- Lee, Y.C. et al., 2013. An integrated approach to identify the biomass burning sources contributing to black carbon episodes in Hong Kong. *Atmospheric Environment*, 80, pp.478-487. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231013006390> [Accedido enero 20, 2016].

- Li, G. et al., 2014. Source contributions of PAHs and toxicity in reed wetland soils of Liaohe estuary using a CMB-TEQ method. *The Science of the total environment*, 490, pp.199-204. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969714006561> [Accedido diciembre 18, 2015].
- Liang, J., 2013. *Chemical Modeling for Air Resources*, Elsevier. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124081352000094> [Accedido enero 19, 2016].
- Liu, S. & Zhang, K., 2015. Fine particulate matter components and mortality in Greater Houston: Did the risk reduce from 2000 to 2011? *Science of The Total Environment*, 538, pp.162-168. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969715305404>.
- Lough, G.C. et al., 2005. Emissions of Metals Associated with Motor Vehicle Roadways. *Environmental Science & Technology*, 39(3), pp.826-836.
- Magara- Gomez, K.T. et al., 2012. Sensitivity of hazardous air pollutant emissions to the combustion of blends of petroleum diesel and biodiesel fuel. *Atmospheric Environment*, 50, pp.307-313. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231011012593> [Accedido diciembre 25, 2015].
- Mancilla, J., 2008. Estimación del origen dle material particulado (PM10) en Rancagua utilizando un modelo de receptor.
- MinCIT, 2015. Informe Turismo Marzo 2014. , p.77. Disponible en: <http://www.mincit.gov.co/publicaciones.php?id=16590>.
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010. Resolución 0610 de 2010.
- MINTRANSPORTE, 2014. Restricción de vehículos de Carga “Para la temporada vacacional de Navidad, Año Nuevo y Reyes 2014 – 2015 en la Red Vial Nacional. Disponible en: https://www.mintransporte.gov.co/Publicaciones/restriccin_de_vehculos_de_carga_para_la_temporada_vacacional_de_navidad_ao_nuevo_y_reyes_2014_2015_en_la_red_vial_nacional.
- MinTransporte, 2014. Restricción de vehículos de Carga «Para la temporada vacacional de Navidad, Año Nuevo y Reyes 2014 – 2015 en la Red Vial Nacional». Disponible en: https://www.mintransporte.gov.co/Publicaciones/restriccin_de_vehculos_de_c

arga_para_la_temporada_vacacional_de_navidad_ao_nuevo_y_reyes_2014_2015_en_la_red_vial_nacional [Accedido enero 18, 2016].

Mintransporte, 2015. Restricción de vehículos de carga «para la temporada vacacional de Semana Santa 2015, en la Red Vial Nacional». Disponible en: https://www.mintransporte.gov.co/Publicaciones/restriccin_de_vehiculos_de_carga_para_la_temporada_vacacional_de_semana_santa_2015_en_la_red_vial_nacional.

Morales, R.G.E., 2006. *Contaminación atmosférica urbana: episodios críticos de contaminación ambiental en la ciudad de Santiago*, Editorial Universitaria. Disponible en: <https://books.google.com/books?id=HdeX6SWHBW8C&pgis=1> [Accedido enero 19, 2016].

O.I Analytical, 2011. Effect of Particulate Matter on Total Organic Carbon (TOC) Analysis of Environmental Water Samples.

Ortiz, H.C. & Rojas, N.Y., 2015. Physico-chemical characterization of particulate matter and application of receptor models in a town near to a mining project in the department of the cesar. Disponible en: http://casap.com.co/documentos/memorias_13_agosto/400pm_salon4_castro_h.pdf.

Pathak, R.K. et al., 2011a. Characteristics of summertime PM_{2.5} organic and elemental carbon in four major Chinese cities: Implications of high acidity for water-soluble organic carbon (WSOC). *Atmospheric Environment*, 45(2), pp.318-325. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231010008836> [Accedido julio 17, 2015].

Pathak, R.K. et al., 2011b. Characteristics of summertime PM_{2.5} organic and elemental carbon in four major Chinese cities: Implications of high acidity for water-soluble organic carbon (WSOC). *Atmospheric Environment*, 45(2), pp.318-325.

Pui, D.Y.H., Chen, S.C. & Zuo, Z., 2014. PM_{2.5} in China: Measurements, sources, visibility and health effects, and mitigation. *Particuology*, 13(1), pp.1-26. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.partic.2013.11.001>.

Pui, D.Y.H., Chen, S.-C. & Zuo, Z., 2014. PM_{2.5} in China: Measurements, sources, visibility and health effects, and mitigation. *Particuology*, 13, pp.1-26. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674200113002228> [Accedido febrero 19, 2015].

- Pulles, T. et al., 2012. Emission factors for heavy metals from diesel and petrol used in European vehicles. *Atmospheric Environment*, 61, pp.641-651. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231012006942> [Accedido enero 8, 2016].
- Querol, X. et al., 2007. Source origin of trace elements in PM from regional background, urban and industrial sites of Spain. *Atmospheric Environment*, 41, pp.7219-7231.
- Ramadan, Z. et al., 2003. Comparison of Positive Matrix Factorization and Multilinear Engine for the source apportionment of particulate pollutants. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 66(1), pp.15-28. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169743902001600> [Accedido diciembre 12, 2015].
- Rodríguez Villamizar, L.A., Castro Ortiz, H. & Serrano Rey, J.J., 2010. Artículo Contaminación atmosférica y sus efectos en la salud en Bucaramanga Artículo.
- Rojas, N.Y., 2008. Modelos de receptor. *VII Congreso Colombiano De Meteorología Y Conferencia Internacional Cambio Climático, Recursos Naturales Y Desarrollo Sostenible*.
- Sarigiannis, D.A. et al., 2014. Total exposure to airborne particulate matter in cities: the effect of biomass combustion. *The Science of the total environment*, 493, pp.795-805. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969714009115> [Accedido junio 9, 2015].
- Sbarato, D. & Sbarato, V., 2009. Contaminación del aire.
- Schauer, J.J. & Cass, G.R., 2000. Source Apportionment of Wintertime Gas-Phase and Particle-Phase Air Pollutants Using Organic Compounds as Tracers. *Environmental Science & Technology*, 34(9), pp.1821-1832. Disponible en: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0034192279&partnerID=tZOtx3y1> [Accedido marzo 22, 2015].
- Von Schneidmesser, E. et al., 2010. Toxic metals in the atmosphere in Lahore, Pakistan. *Science of the Total Environment*, 408(7), pp.1640-1648. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.12.022>.
- Seidel, D.J. & Birnbaum, A.N., 2015. Effects of Independence Day fireworks on atmospheric concentrations of fine particulate matter in the United States. *Atmospheric Environment*, 115, pp.192-198. Disponible en:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231015301369>
[Accedido diciembre 1, 2015].

Shirmohammadi, F. et al., 2016. Fine and ultrafine particulate organic carbon in the Los Angeles basin: Trends in sources and composition. *The Science of the total environment*, 541, pp.1083-96. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969715307944>
[Accedido enero 20, 2016].

Stone, E. et al., 2010. Chemical characterization and source apportionment of fine and coarse particulate matter in Lahore, Pakistan. *Atmospheric Environment*, 44(8), pp.1062-1070. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231009010395>.

Stone, E. a. et al., 2007. Source apportionment of fine organic aerosol in Mexico City during the MILAGRO Experiment 2006. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 7(4), pp.9635-9661.

UNMIX, 2007. EPA Unmix 6 . 0 Fundamentals & User Guide.

Vanguardia Liberal, V., 2014a. Bomberos han atendido 503 incendios en Bucaramanga este año. Disponible en: <http://www.vanguardia.com/santander/bucaramanga/293087-bomberos-han-atendido-503-incendios-en-bucaramanga-este-ano> [Accedido enero 11, 2016].

Vanguardia Liberal, V., 2014b. Controlan incendio en vivienda de Bucaramanga. Disponible en: <http://www.vanguardia.com/judicial/286698-controlan-incendio-en-vivienda-de-bucaramanga>.

Vargas, F. & Engineering, E., 2009. SOURCE APPORTIONMENT OF PM 10 IN BOGOTÁ , COLOMBIA Néstor Rojas * 3 . RESULTS AND DISCUSSION. , pp.19-22.

Viana, M. et al., 2008. Source apportionment of particulate matter in Europe: A review of methods and results. *Journal of Aerosol Science*, 39(10), pp.827-849.

Villalobos, A.M. et al., 2015. Chemical speciation and source apportionment of fine particulate matter in Santiago, Chile, 2013. *Science of The Total Environment*, 512-513, pp.133-142. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969715000091>.

Wang, Y. et al., 2007. The air pollution caused by the burning of fireworks during the lantern festival in Beijing. *Atmospheric Environment*, 41(2), pp.417-431. Disponible en:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231006008351>
[Accedido enero 17, 2016].

Wang, Z., Hao, L. & Zhang, W., 2005. Chemical processes on the formation of secondary organic aerosols. *Progress in Chemistry*, 17(4), pp.732-739.

WHO, 2014. 7 million premature deaths annually linked to air pollution. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/>.

WMO & IGAC, 2012. Impacts of Megacities on Air Pollution and Climate.

Xu, J. et al., 2015. Individual and population intake fractions of diesel particulate matter (DPM) in bus stop microenvironments. *Environmental pollution (Barking, Essex: 1987)*, 207, pp.161-7. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749115300543>
[Accedido diciembre 11, 2015].

Zhang, F. et al., 2015. Seasonal variations and chemical characteristics of PM(2.5) in Wuhan, central China. *The Science of the total environment*, 518-519, pp.97-105. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969715001977>
[Accedido julio 21, 2015].

Zhang, Y. et al., 2009. Source apportionment of primary and secondary organic aerosols using positive matrix factorization (PMF) of molecular markers. *Atmospheric Environment*, 43(34), pp.5567-5574.

ANEXOS

Anexo 1. Resultados de la aplicación del modelo de receptores CMB

Chemical Mass Balance Version EPA-CMB8.2									
Report Date: 21/12/2015									
SAMPLE:		OPTIONS:				INPUT FILES:			
SITE:	Muestra1	BRITT & LUECKE:	No						
SAMPLE DATE:	10/20/14	SOURCE ELIMINATION:	No		PRlau5.se1				
DURATION:	6.	BEST FIT:	No		SPlau5.se1				
START HOUR:	0.								
SIZE:	FINE								
Species Array:	5								
Sources Array:	7								
FITTING STATISTICS:									
R SQUARE	1.00	% MASS	110.7						
CHI SQUARE	0.15	DEGREES FREEDOM	5						
SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES:									
SOURCE	EST CODE	NAME	SCE(µg/m³)	Std Err	Tstat				
YES	BUC001	BDUST01	2.93993	1.00312	2.93079				
NO	BUC002	BWEAR01	-12.29016	14.00958	-0.87727				
NO	BUC003	BWEARLW	6.02659	14.24376	0.42310				
YES	BUC004	BWEARAMC	5.28346	7.03212	0.75133				
YES	BUC005	BWEARPAC	-9.07283	13.13686	-0.69064				
YES	BUC006	BWEARS01	0.18768	0.11712	1.60244				
NO	BUC007	BWEARS02	3.56633	13.09862	0.27227				
NO	BUC008	CHARBC01	-90.72804	317.24313	-0.28599				
NO	BUC009	FDON1	-166.80820	331.84772	-0.50266				
NO	BUC010	CONST	171.30226	328.03085	0.52221				
NO	BUC011	CONVID01	20.66445	118.72227	0.17406				
NO	BUC012	CONVTC01	136.77565	468.31647	0.29206				
NO	BUC013	BVCAT02	8.97434	19.25099	0.46618				
NO	BUC017	DIESE01	-18.04190	168.95557	-0.10678				
NO	BUC018	TOS2	-60.74150	594.69153	-0.10214				
NO	BUC019	DIESEL01	-7.18993	66.51395	-0.10810				
NO	BUC021	DIEST02	-99.97091	251.02313	-0.39825				
YES	BUC022	ECRUST01	0.74500	0.05454	13.65901				
NO	BUC024	PCHKG03	-0.23425	3.90073	-0.06005				
NO	BUC025	PHAUTO	-0.11753	41.58806	-0.00283				
YES	BUC026	GASLIGHT	-0.13741	0.48915	-0.28092				
NO	BUC029	RORDFDU	-12.30356	11.28534	-1.09022				
NO	BUC032	MECHARE	23.91678	34.39025	0.69545				
NO	BUC033	MECOCHAR	77.87930	120.33498	0.64719				
NO	BUC034	MECOFRY	-1.03883	14.34002	-0.07244				
YES	BUC036	MOTOR01	-0.46165	2.19516	-0.21030				
NO	BUC039	PSPR01	27.92938	37.72488	0.74034				
NO	BUC041	GCYSTC3	5.12955	67.92571	0.07552				
YES	BUC045	ROIL01	3.25610	1.56702	2.07789				
YES	BUC047	RFDST	0.17625	0.45536	0.38706				
YES	BUC053	TRANS01	0.05479	0.94445	0.05802				
NO	BUC056	BVBURN13	26.23475	17.76902	1.47643				
NO	BUC059	WOSDUST	-23.98318	56.50534	-0.42444				

17.92269									
MEASURED CONCENTRATION FOR SIZE: FINE									
16.2+- -99.0									

Eligible Space Collinearity Display									
=====									
ELIGIBLE SPACE DIM. = 15 FOR MAX. UNC. = 3.23800 (20.% OF TOTAL MEAS. MASS)									

1 / Singular Value									
0.00758	0.04347	0.08209	0.12322	0.22352	0.28168	0.39149	0.41730		
0.51836	0.95237	1.08170	1.28841	1.88942	2.50217	3.21892	3.35441		
4.00794	4.61230	5.20457	6.26700	8.08969	9.26687	11.69920	12.73049		
23.62258	28.11732	46.13085	79.52390	*****	*****	*****	*****		

NUMBER ESTIMABLE SOURCES = 10 FOR MIN. PROJ. = 0.95									
PROJ. SOURCE	PROJ. SOURCE	PROJ. SOURCE	PROJ. SOURCE	PROJ. SOURCE	PROJ. SOURCE	PROJ. SOURCE	PROJ. SOURCE	PROJ. SOURCE	PROJ. SOURCE
0.9994 BUC001	0.8599 BUC002	0.5977 BUC003	0.9692 BUC004	0.9737 BUC005					
1.0000 BUC006	0.7504 BUC007	0.2177 BUC008	0.1873 BUC009	0.1751 BUC010					
0.2149 BUC011	0.1085 BUC012	0.3722 BUC013	0.2001 BUC017	0.1749 BUC018					
0.2785 BUC019	0.1593 BUC021	1.0000 BUC022	0.8830 BUC024	0.8335 BUC025					
0.9999 BUC026	0.8223 BUC029	0.3179 BUC032	0.3153 BUC033	0.6703 BUC034					
0.9974 BUC036	0.2956 BUC039	0.2612 BUC041	0.9959 BUC045	0.9983 BUC047					

0.9999 BUC053 0.0971 BUC056 0.1502 BUC059

ESTIMABLE LINEAR COMBINATIONS OF INESTIMABLE SOURCES									
COEFF.	SOURCE	COEFF.	SOURCE	COEFF.	SOURCE	SCE	Std Err		
-0.0057	BUC002	0.0176	BUC003	-0.0845	BUC007	-0.0997	BUC008	69.24494++	0.51168
0.1207	BUC009	0.1931	BUC010	-0.7503	BUC011	0.5070	BUC012	69.24494++	0.51168
0.1556	BUC013	0.0481	BUC017	0.2010	BUC018	-0.0285	BUC019	69.24494++	0.51168
-0.0760	BUC021	0.0386	BUC024	0.0380	BUC025	0.0613	BUC029	69.24494++	0.51168
-0.1055	BUC032	0.0431	BUC033	-0.0579	BUC034	-0.0775	BUC039	69.24494++	0.51168
-0.0900	BUC041	-0.0082	BUC056	-0.0060	BUC059			69.24494++	0.51168
-0.0121	BUC002	0.0076	BUC003	-0.0099	BUC007	0.0163	BUC008	46.66572+-	1.24960
-0.0477	BUC009	-0.1045	BUC010	0.0832	BUC011	0.1681	BUC012	46.66572+-	1.24960
-0.0013	BUC013	-0.0066	BUC017	-0.0041	BUC018	0.0456	BUC019	46.66572+-	1.24960
-0.2811	BUC021	-0.5034	BUC024	0.7534	BUC025	-0.1349	BUC029	46.66572+-	1.24960
0.1553	BUC032	0.0173	BUC033	0.0672	BUC034	-0.0227	BUC039	46.66572+-	1.24960
-0.0175	BUC041	-0.0305	BUC056	0.0028	BUC059			46.66572+-	1.24960
-0.0487	BUC002	0.0337	BUC003	-0.0442	BUC007	0.0635	BUC008	54.39927+-	1.87274
-0.1961	BUC009	-0.4156	BUC010	0.3459	BUC011	0.5902	BUC012	54.39927+-	1.87274
0.0031	BUC013	-0.0682	BUC017	0.0931	BUC018	0.2390	BUC019	54.39927+-	1.87274
-0.0139	BUC021	0.2871	BUC024	-0.0345	BUC025	0.1858	BUC029	54.39927+-	1.87274
0.0002	BUC032	0.2664	BUC033	-0.1820	BUC034	-0.0425	BUC039	54.39927+-	1.87274
-0.0955	BUC041	-0.0861	BUC056	-0.0086	BUC059			54.39927+-	1.87274
-0.0179	BUC002	-0.0155	BUC003	0.0779	BUC007	0.0668	BUC008	90.39176+-	2.46590
-0.0939	BUC009	0.1000	BUC010	0.0667	BUC011	-0.0812	BUC012	90.39176+-	2.46590
0.0753	BUC013	-0.2478	BUC017	-0.1830	BUC018	-0.5751	BUC019	90.39176+-	2.46590
-0.4339	BUC021	0.3336	BUC024	0.1709	BUC025	0.0841	BUC029	90.39176+-	2.46590
-0.2904	BUC032	0.2330	BUC033	0.0521	BUC034	-0.0311	BUC039	90.39176+-	2.46590
-0.2200	BUC041	0.0277	BUC056	-0.0188	BUC059			90.39176+-	2.46590
0.0065	BUC002	-0.0035	BUC003	0.0059	BUC007	-0.0175	BUC008	77.25909+-	3.20038
0.0305	BUC009	0.1123	BUC010	-0.1233	BUC011	-0.1107	BUC012	77.25909+-	3.20038
0.0217	BUC013	0.0061	BUC017	-0.2576	BUC018	-0.0364	BUC019	77.25909+-	3.20038
0.0204	BUC021	-0.1706	BUC024	-0.0343	BUC025	0.2428	BUC029	77.25909+-	3.20038
0.3116	BUC032	0.5737	BUC033	-0.3979	BUC034	0.2502	BUC039	77.25909+-	3.20038
0.2088	BUC041	-0.0101	BUC056	-0.3315	BUC059			77.25909+-	3.20038

SPECIES CONCENTRATIONS:

SPECIES	FIT	MEASURED	CALCULATED	CALCULATED		RESIDUAL		
				MEASURED	UNCERTAINTY			
TMAC	TMAU	16.19000+-	17.92269+-	99.11696	1.11+-	9.13	0.0	
ECTC	ECTU	* 3.96357+-	0.06337	3.96052+-	6.43296	1.00+-	1.62	0.0
OCTC	OCTU	* 1.04000+-	0.06000	1.03860+-	6.60702	1.00+-	6.35	0.0
CLXC	CLXU	* 0.01023+-	0.00109	-0.07354+-	0.48249	-7.19+-	-47.17	-0.2
N3IC	N3IU	* 0.07786+-	0.00804	0.07775+-	0.04844	1.00+-	0.63	0.0
PHXC	PHXU	* 0.06735+-	0.00896	0.00000+-	0.00000	0.00+-	0.00	-7.5
S4IC	S4IU	* 1.58440+-	0.15879	1.59642+-	0.51102	1.01+-	0.34	0.0
NAAC	NAAU	* 0.04449+-	0.00719	0.04630+-	0.13588	1.04+-	3.06	0.0
N4CC	N4CU	* 0.64250+-	0.06452	0.62339+-	0.45157	0.97+-	0.71	0.0
KPAC	KPAU	* 0.07131+-	0.01125	0.08942+-	0.19647	1.25+-	2.76	0.1
NAXC	NAXU	* 0.04668+-	0.00435	0.04571+-	0.24551	0.98+-	5.26	0.0
MGXC	MGXU	* 0.01613+-	0.00134	-0.02390+-	0.42894	-1.48+-	-26.59	-0.1
ALXC	ALXU	* 0.07495+-	0.00691	1.82547+-	-12.71698	24.35+-	*****	0.1
PHXC2	PHXU2	* 0.01826+-	0.00123	0.02469+-	0.14762	1.35+-	8.08	0.0
SUXC	SUXU	* 0.65004+-	0.06221	0.64513+-	0.00510	0.99+-	0.10	-0.1
KPXC	KPXU	* 0.08699+-	0.01028	0.38756+-	2.35098	4.46+-	-27.03	0.1
CAXC	CAXU	* 0.08188+-	0.00744	-0.21584+-	3.46068	-2.64+-	-42.27	-0.1
TIXC	TIXU	* 0.01075+-	0.00092	0.00931+-	0.22405	0.87+-	-20.84	0.0
VAXC	VAXU	* 0.00046+-	0.00003	0.08974+-	0.14311	*****+-	*****	0.6
CRXC	CRXU	* 0.00206+-	0.00013	0.00122+-	0.03683	0.59+-	-17.89	0.0
MNXC	MNXU	* 0.00571+-	0.00040	0.00788+-	0.03626	1.38+-	6.35	0.1
FEXC	FEXU	* 0.15087+-	0.01091	0.09682+-	1.43043	0.64+-	9.48	0.0
COXC	COXU	* 0.00010+-	0.00001	-0.01046+-	0.24792	*****+-	*****	0.0
NIXC	NIXU	* 0.00060+-	0.00005	0.00060+-	0.00005	1.00+-	0.13	0.0
CUXC	CUXU	* 0.00686+-	0.00040	0.00695+-	0.01577	1.01+-	2.30	0.0
ZNXC	ZNXU	* 0.01926+-	0.00216	0.01897+-	0.02462	0.99+-	1.28	0.0
ASXC	ASXU	* 0.00035+-	0.00004	0.00624+-	0.01540	17.67+-	-43.68	0.4
SEXC	SEXU	* 0.00082+-	0.00008	0.00075+-	0.00905	0.91+-	-10.99	0.0
RBXC	RBXU	* 0.00023+-	0.00002	0.00018+-	0.00501	0.77+-	-21.30	0.0
SRXC	SRXU	* 0.00076+-	0.00007	0.00077+-	0.01030	1.01+-	-13.56	0.0
YTXC	YTXU	* 0.00003+-	0.00000	-0.00083+-	0.00556	*****+-	*****	-0.2
MOXC	MOXU	* 0.00035+-	0.00003	-0.00066+-	0.02019	-1.91+-	-58.18	0.0
PDXC	PDXU	* 0.00001+-	0.00000	0.00001+-	0.00003	0.98+-	2.53	0.0
AGXC	AGXU	* 0.00016+-	0.00005	-0.00052+-	0.03545	-3.31+-	*****	0.0
CDXC	CDXU	* 0.00012+-	0.00001	0.00229+-	0.03923	19.93+-	*****	0.1
SNXC	SNXU	* 0.00168+-	0.00012	0.00168+-	0.00005	1.00+-	0.08	0.0
SBXC	SBXU	* 0.00224+-	0.00017	-0.00764+-	0.19259	-3.41+-	-85.94	-0.1
BAXC	BAXU	* 0.00895+-	0.00074	0.26362+-	0.71793	29.46+-	-80.25	0.4
LAXC	LAXU	* 0.00010+-	0.00001	-0.02612+-	1.00220	*****+-	*****	0.0
CEXC	CEXU	* 0.00011+-	0.00001	0.00011+-	0.00000	1.00+-	0.07	0.0
NDXC	NDXU	* 0.00004+-	0.00000	0.00004+-	0.00000	1.00+-	0.07	0.0
PBXC	PBXU	* 0.00455+-	0.00040	0.00455+-	0.01469	1.00+-	3.23	0.0
URXC	URXU	* 0.00001+-	0.00000	-0.00019+-	0.01428	*****+-	*****	0.0

Chemical Mass Balance Version EPA-CMB8.2
Report Date: 21/12/2015

SAMPLE:		OPTIONS:		INPUT FILES:
SITE:	Muestra2	BRITT & LUECKE:	No	
SAMPLE DATE:	11/25/14	SOURCE ELIMINATION:	No	PR1au5.se1
DURATION:	3.	BEST FIT:	No	SP1au5.se1
START HOUR:	0.			
SIZE:	FINE			ADbuc.dbf
				PRbucf.dbf

Species Array: 5
Sources Array: 7

FITTING STATISTICS:

R SQUARE	1.00	% MASS	83.2
CHI SQUARE	0.11	DEGREES FREEDOM	5

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES:

SOURCE	EST CODE	NAME	SCE(µg/m³)	Std Err	Tstat
YES	BUC001	BDUST01	37.17665	14.85468	2.50269
NO	BUC002	BWEAR01	-247.62604	309.88742	-0.79908
NO	BUC003	BWEARLW	114.59438	312.80142	0.36635
YES	BUC004	BWEARAMC	114.20105	155.87001	0.73267
YES	BUC005	BWEARPAC	-200.12573	292.25320	-0.68477
YES	BUC006	BWEARS01	2.85784	2.58931	1.10370
NO	BUC007	BWEARS02	81.47739	289.11212	0.28182
NO	BUC008	CHARBC01	-1668.16455	7059.13281	-0.23631
NO	BUC009	FDCON1	-3736.67554	7352.49951	-0.50822
NO	BUC010	CONST	3764.30200	7232.91553	0.52044
NO	BUC011	CONVID01	590.89990	2617.68750	0.22573
NO	BUC012	CONVTC01	2869.34204	10376.00488	0.27654
NO	BUC013	BVCAT02	219.42989	431.97421	0.50797
NO	BUC017	DIEESE01	-63.48212	3827.14380	-0.01659
NO	BUC018	TOS2	-1957.56152	13410.44629	-0.14597
NO	BUC019	DIESEL01	-163.28889	1473.27441	-0.11083
NO	BUC021	DIEEST02	-2127.00000	5443.53760	-0.39074
YES	BUC022	ECRUST01	11.52362	0.76362	15.09078
NO	BUC024	PCHKG03	-5.26817	86.50356	-0.06090
NO	BUC025	PHAUTO	-70.23737	922.47858	-0.07614
YES	BUC026	GASLIGHT	-2.86393	10.73365	-0.26682
NO	BUC029	RORDFDU	-261.72632	253.76617	-1.03137
NO	BUC032	MECHARE	523.54486	774.35852	0.67610
NO	BUC033	MECOCHAR	1762.94873	2685.35986	0.65650
NO	BUC034	MECOFRY	-47.68031	327.73895	-0.14548
YES	BUC036	MOTOR01	-9.68938	48.23977	-0.20086
NO	BUC039	PSPRO1	606.04449	836.59558	0.72442
NO	BUC041	GCYSTC3	223.56258	1557.97583	0.14350
YES	BUC045	ROILO1	66.38096	34.25275	1.93797
YES	BUC047	RFDST	2.31948	6.00819	0.38605
YES	BUC053	TRANS01	2.22142	20.93291	0.10612
NO	BUC056	BVBURN13	297.51401	396.88055	0.74963
NO	BUC059	WOSDUST	-540.88513	1256.29285	-0.43054

188.06627

MEASURED CONCENTRATION FOR SIZE: FINE
226.0+- -99.0

Eligible Space Collinearity Display

ELIGIBLE SPACE DIM. = 12 FOR MAX. UNC. = 45.19600 (20.% OF TOTAL MEAS. MASS)

1 / Singular Value

0.07630	0.62684	1.96046	2.78885	4.08518	6.02363	8.18981	9.26105
14.56702	23.14716	27.45953	31.10919	49.68431	54.93047	72.88508	75.37755
80.99086	91.81017	*****	*****	*****	*****	*****	*****
*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****

NUMBER ESTIMABLE SOURCES = 10 FOR MIN. PROJ. = 0.95

PROJ. SOURCE	PROJ. SOURCE	PROJ. SOURCE	PROJ. SOURCE	PROJ. SOURCE
0.9987 BUC001	0.4336 BUC002	0.5762 BUC003	0.9649 BUC004	0.9617 BUC005
1.0000 BUC006	0.7045 BUC007	0.0375 BUC008	0.1021 BUC009	0.1007 BUC010
0.1597 BUC011	0.0491 BUC012	0.0681 BUC013	0.1044 BUC017	0.0512 BUC018
0.1740 BUC019	0.0351 BUC021	1.0000 BUC022	0.7405 BUC024	0.4216 BUC025
0.9999 BUC026	0.4116 BUC029	0.0979 BUC032	0.0717 BUC033	0.2515 BUC034
0.9970 BUC036	0.2279 BUC039	0.1167 BUC041	0.9950 BUC045	0.9987 BUC047

0.9998 BUC053 0.0582 BUC056 0.0873 BUC059

ESTIMABLE LINEAR COMBINATIONS OF INESTIMABLE SOURCES								
COEFF.	SOURCE	COEFF.	SOURCE	COEFF.	SOURCE	SCE	Std Err	
0.0039	BUC002	-.0207	BUC003	0.0828	BUC007	-.1094	BUC008	*****+- 27.15565
-.1192	BUC009	-.1962	BUC010	0.7452	BUC011	0.5115	BUC012	*****+- 27.15565
-.1587	BUC013	0.0571	BUC017	-.1958	BUC018	-.0076	BUC019	*****+- 27.15565
0.0808	BUC021	-.0218	BUC024	0.0701	BUC025	0.1224	BUC029	*****+- 27.15565
-.0257	BUC032	-.0612	BUC033	-.0143	BUC034	-.0679	BUC039	*****+- 27.15565
-.0731	BUC041	-.0491	BUC056	0.0200	BUC059			*****+- 27.15565

SPECIES CONCENTRATIONS:

SPECIES	FIT	MEASURED	CALCULATED	CALCULATED		RESIDUAL
				MEASURED	UNCERTAINTY	
TMAC	TMAU	225.98000+*****	188.06627+*****	0.83+-	9.75	0.0
ECTC	ECTU	* 4.13175+-	0.08256	3.87037+*****		0.94+-33.78
OCTC	OCTU	* 27.87000+-	1.68000	27.71663+*****		0.99+- 5.18
CLXC	CLXU	* 0.02232+-	0.00443	-1.58807+-11.08378		*****+-*****
N3IC	N3IU	* 1.19501+-	0.12813	1.18704+- 3.85688		0.99+- 3.23
PHXC	PHXU	* 0.32577+-	0.18317	0.00000+- 0.00000		0.00+- 0.00
S4IC	S4IU	* 35.08303+-	3.52060	35.32885+-11.30276		1.01+- 0.34
NAAC	NAAU	* 1.03355+-	0.17231	1.05482+- 2.99629		1.02+- 2.90
N4CC	N4CU	* 13.39643+-	1.34860	13.00453+-10.12195		0.97+- 0.76
KPAC	KPAU	* 2.16661+-	0.34340	2.59844+- 4.94410		1.20+- 2.29
NAXC	NAXU	* 1.08739+-	0.10192	1.06006+- 5.38802		0.97+- 4.96
MGXC	MGXU	* 0.30287+-	0.02839	-0.47654+- 9.42845		-1.57+-31.13
ALXC	ALXU	* 1.10162+-	0.10620	41.38935+*****		37.57+-*****
PHXC2	PHXU2	* 0.27515+-	0.01789	0.45525+- 3.27619		1.65+-11.91
SUXC	SUXU	* 12.62597+-	1.28233	12.54083+- 0.05818		0.99+- 0.10
KPXC	KPXU	* 2.25548+-	0.25616	13.94787+-52.19330		6.18+-23.15
CAXC	CAXU	* 1.64092+-	0.14832	-3.76917+-76.44584		-2.30+-46.59
TIXC	TIXU	* 0.15563+-	0.01330	0.11454+- 4.95602		0.74+-31.84
VAXC	VAXU	* 0.01228+-	0.00084	1.77257+- 3.14385		*****+-*****
CRXC	CRXU	* 0.02307+-	0.00154	0.02243+- 0.81383		0.97+-35.27
MNXC	MNXU	* 0.05048+-	0.00411	0.09349+- 0.79938		1.85+-15.84
FEXC	FEXU	* 2.05600+-	0.17933	0.92774+-31.46578		0.45+-15.30
COXC	COXU	* 0.00113+-	0.00010	-0.24327+- 5.49777		*****+-*****
NIXC	NIXU	* 0.00776+-	0.00103	0.00776+- 0.00060		1.00+- 0.15
CUXC	CUXU	* 0.10053+-	0.00755	0.10237+- 0.35765		1.02+- 3.56
ZNXC	ZNXU	* 0.24539+-	0.03098	0.23654+- 0.64499		0.96+- 2.63
ASXC	ASXU	* 0.00571+-	0.00066	0.08434+- 0.34719		14.77+-60.82
SEXC	SEXU	* 0.01534+-	0.00112	0.01467+- 0.19862		0.96+-12.95
RBXC	RBXU	* 0.00416+-	0.00032	0.00250+- 0.11080		0.60+-26.64
SRXC	SRXU	* 0.01763+-	0.00189	0.01775+- 0.22817		1.01+-12.94
YTXC	YTXU	* 0.00056+-	0.00004	-0.02289+- 0.12319		*****+-*****
MOXC	MOXU	* 0.00429+-	0.00041	-0.02095+- 0.44404		-4.88+-*****
PDXC	PDXU	* 0.00017+-	0.00006	0.00017+- 0.00043		0.98+- 2.53
AGXC	AGXU	* 0.00246+-	0.00082	0.00068+- 0.77858		0.28+-*****
CDXC	CDXU	* 0.00163+-	0.00012	0.04389+- 0.83923		26.84+-*****
SNXC	SNXU	* 0.01626+-	0.00116	0.01626+- 0.00064		1.00+- 0.08
SBXC	SBXU	* 0.04239+-	0.00279	-0.18369+- 4.23703		-4.33+-99.96
BAXC	BAXU	* 0.15860+-	0.01240	5.50201+-15.78895		34.69+-99.59
LAXC	LAXU	* 0.00152+-	0.00011	-0.68818+-21.94972		*****+-*****
CEXC	CEXU	* 0.00165+-	0.00012	0.00165+- 0.00000		1.00+- 0.07
NDXC	NDXU	* 0.00063+-	0.00004	0.00063+- 0.00000		1.00+- 0.07
PBXC	PBXU	* 0.08937+-	0.00819	0.08928+- 0.35072		1.00+- 3.93
URXC	URXU	* 0.00012+-	0.00001	-0.00333+- 0.31268		*****+-*****

Chemical Mass Balance Version EPA-CMB8.2
Report Date: 21/12/2015

SAMPLE:		OPTIONS:		INPUT FILES:
SITE:	Muestra3	BRITT & LUECKE:	No	
SAMPLE DATE:	01/19/15	SOURCE ELIMINATION:	No	PR1au5.se1
DURATION:	4.	BEST FIT:	No	SP1au5.se1
START HOUR:	0.			
SIZE:	FINE			ADbuc.dbf
				PRbucf.dbf
Species Array:	5			
Sources Array:	7			

FITTING STATISTICS:

R SQUARE	1.00	% MASS	107.9
CHI SQUARE	0.15	DEGREES FREEDOM	5

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES:

SOURCE	EST CODE	NAME	SCE(µg/m³)	Std Err	Tstat
YES	BUC001	BDUST01	4.09288	1.28505	3.18499
NO	BUC002	BWEAR01	-21.05699	23.30698	-0.90346
NO	BUC003	BWEARLW	10.58968	23.91869	0.44274
YES	BUC004	BWEARAMC	9.38945	11.52483	0.81472
YES	BUC005	BWEARPAC	-16.95528	21.66163	-0.78273
YES	BUC006	BWEARS01	0.40704	0.19514	2.08583
NO	BUC007	BWEARS02	5.64810	22.42990	0.25181
NO	BUC008	CHARBC01	-142.85271	523.91302	-0.27266
NO	BUC009	FDCON1	-265.98389	558.84961	-0.47595
NO	BUC010	CONST	266.92657	551.25372	0.48422
NO	BUC011	CONVID01	49.58935	193.48079	0.25630
NO	BUC012	CONVTC01	272.45813	756.24109	0.36028
NO	BUC013	BVCAT02	15.73991	32.52794	0.48389
NO	BUC017	DIEESE01	-18.86618	284.04907	-0.06642
NO	BUC018	TOS2	-183.70305	986.89929	-0.18614
NO	BUC019	DIESEL01	-24.23767	106.30109	-0.22801
NO	BUC021	DIEEST02	-171.88521	427.03964	-0.40250
YES	BUC022	ECRUST01	1.21768	0.07272	16.74364
NO	BUC024	PCHKG03	-0.40015	6.15457	-0.06502
NO	BUC025	PHAUTO	-1.35447	68.15317	-0.01987
YES	BUC026	GASLIGHT	-0.20603	0.77348	-0.26636
NO	BUC029	RORDFDU	-21.46444	18.58732	-1.15479
NO	BUC032	MECHARE	52.08998	57.88455	0.89989
NO	BUC033	MECOCHAR	148.79189	200.92506	0.74053
NO	BUC034	MECOFRY	-4.95509	24.13176	-0.20534
YES	BUC036	MOTOR01	-0.73511	4.01134	-0.18326
NO	BUC039	PSPR01	50.62053	62.22467	0.81351
NO	BUC041	GCYSTC3	23.26652	113.60106	0.20481
YES	BUC045	ROILO1	5.70462	2.62851	2.17028
YES	BUC047	RFDST	0.20190	0.52282	0.38618
YES	BUC053	TRANS01	0.10683	1.63421	0.06537
NO	BUC056	BVBURN13	29.37099	29.13132	1.00823
NO	BUC059	WOSDUST	-48.41786	92.79379	-0.52178

23.13793

MEASURED CONCENTRATION FOR SIZE: FINE
21.4+- -99.0

Eligible Space Collinearity Display

ELIGIBLE SPACE DIM. = 14 FOR MAX. UNC. = 4.28800 (20.% OF TOTAL MEAS. MASS)

1 / Singular Value

0.01437	0.05655	0.13947	0.19685	0.34168	0.44006	0.61557	0.65896
1.24827	1.47819	1.78066	2.05203	3.23471	4.14063	5.34364	5.47870
6.66851	7.09869	8.36053	9.39807	13.07019	15.95773	18.84379	21.96687
39.38157	46.35330	79.80835	*****	*****	*****	*****	*****

NUMBER ESTIMABLE SOURCES = 10 FOR MIN. PROJ. = 0.95

PROJ. SOURCE	PROJ. SOURCE	PROJ. SOURCE	PROJ. SOURCE	PROJ. SOURCE
0.9993 BUC001	0.6972 BUC002	0.5899 BUC003	0.9669 BUC004	0.9731 BUC005
1.0000 BUC006	0.7396 BUC007	0.0936 BUC008	0.1264 BUC009	0.1241 BUC010
0.2055 BUC011	0.0712 BUC012	0.1724 BUC013	0.1950 BUC017	0.0945 BUC018
0.2604 BUC019	0.0740 BUC021	1.0000 BUC022	0.8855 BUC024	0.7740 BUC025
0.9999 BUC026	0.8189 BUC029	0.1931 BUC032	0.2087 BUC033	0.4952 BUC034
0.9971 BUC036	0.3130 BUC039	0.1371 BUC041	0.9954 BUC045	0.9986 BUC047

0.9999 BUC053 0.0639 BUC056 0.1360 BUC059

ESTIMABLE LINEAR COMBINATIONS OF INESTIMABLE SOURCES									
COEFF.	SOURCE	COEFF.	SOURCE	COEFF.	SOURCE	COEFF.	SOURCE	SCE	Std Err
0.0064	BUC002	-.0073	BUC003	0.0836	BUC007	-.1029	BUC008	164.26158+-	1.52765
0.1182	BUC009	0.1837	BUC010	0.7150	BUC011	0.5689	BUC012	164.26158+-	1.52765
-.1248	BUC013	0.0602	BUC017	0.1824	BUC018	-.0125	BUC019	164.26158+-	1.52765
0.1012	BUC021	-.0169	BUC024	-.0986	BUC025	0.0667	BUC029	164.26158+-	1.52765
0.0540	BUC032	-.0006	BUC033	-.0684	BUC034	-.0762	BUC039	164.26158+-	1.52765
-.0914	BUC041	0.0073	BUC056	0.0221	BUC059			164.26158+-	1.52765
-.0119	BUC002	0.0089	BUC003	-.0113	BUC007	-.0188	BUC008	40.17321+-	1.95818
0.0478	BUC009	0.1022	BUC010	0.0976	BUC011	-.1534	BUC012	40.17321+-	1.95818
-.0074	BUC013	0.0115	BUC017	-.0045	BUC018	-.0685	BUC019	40.17321+-	1.95818
-.1013	BUC021	-.1960	BUC024	0.1209	BUC025	-.5313	BUC029	40.17321+-	1.95818
0.7665	BUC032	-.0794	BUC033	-.0894	BUC034	0.0096	BUC039	40.17321+-	1.95818
0.0196	BUC041	-.0281	BUC056	-.0007	BUC059			40.17321+-	1.95818
0.0478	BUC002	-.0371	BUC003	0.0476	BUC007	0.0745	BUC008	46.56785+-	3.21411
-.1936	BUC009	-.4074	BUC010	-.3933	BUC011	0.5701	BUC012	46.56785+-	3.21411
0.0213	BUC013	-.0606	BUC017	0.0755	BUC018	0.2499	BUC019	46.56785+-	3.21411
0.0397	BUC021	-.2045	BUC024	-.1301	BUC025	-.1380	BUC029	46.56785+-	3.21411
0.0994	BUC032	-.0104	BUC033	-.3548	BUC034	-.0424	BUC039	46.56785+-	3.21411
-.0865	BUC041	0.0842	BUC056	0.0388	BUC059			46.56785+-	3.21411
-.0172	BUC002	-.0091	BUC003	0.0808	BUC007	-.0644	BUC008	17.73992+-	4.08527
0.0945	BUC009	-.0975	BUC010	0.0674	BUC011	0.0952	BUC012	17.73992+-	4.08527
0.0826	BUC013	0.2387	BUC017	0.1933	BUC018	0.4725	BUC019	17.73992+-	4.08527
-.5873	BUC021	0.2410	BUC024	0.2368	BUC025	-.1914	BUC029	17.73992+-	4.08527
-.1331	BUC032	-.1865	BUC033	0.1676	BUC034	0.0359	BUC039	17.73992+-	4.08527
0.2250	BUC041	0.0365	BUC056	-.0540	BUC059			17.73992+-	4.08527

SPECIES CONCENTRATIONS:

SPECIES	FIT	MEASURED	CALCULATED	CALCULATED		RESIDUAL
				MEASURED	UNCERTAINTY	
TMAC	TMAU	21.44000+-*****	23.13793+-*****	1.08+-	9.12	0.0
ECTC	ECTU	* 4.14891+-	0.08309	4.14788+-	12.06898	1.00+- 2.91 0.0
OCTC	OCTU	* 1.69000+-	0.10000	1.68462+-	11.70303	1.00+- 6.93 0.0
CLXC	CLXU	* 0.00961+-	0.00108	-0.11469+-	0.79925	*****+-83.19 -0.2
N3IC	N3IU	* 0.17672+-	0.01816	0.17641+-	0.15734	1.00+- 0.90 0.0
PHXC	PHXU	* 0.06250+-	0.01228	0.00000+-	0.00000	0.00+- 0.00 -5.1
S4IC	S4IU	* 2.80811+-	0.28148	2.83107+-	0.85679	1.01+- 0.32 0.0
NAAC	NAAU	* 0.18256+-	0.02836	0.18442+-	0.24211	1.01+- 1.34 0.0
N4CC	N4CU	* 1.10647+-	0.11115	1.07467+-	0.72312	0.97+- 0.66 0.0
KPAC	KPAU	* 0.16471+-	0.02574	0.19773+-	0.35356	1.20+- 2.15 0.1
NAXC	NAXU	* 0.18371+-	0.01619	0.18104+-	0.38951	0.99+- 2.12 0.0
MGXC	MGXU	* 0.03436+-	0.00242	-0.02673+-	0.67202	-0.78+-19.56 -0.1
ALXC	ALXU	* 0.12622+-	0.01120	3.76417+-	20.03156	29.82+-***** 0.2
PHXC2	PHXU2	* 0.02092+-	0.00116	0.03549+-	0.23431	1.70+-11.20 0.1
SUXC	SUXU	* 1.07043+-	0.09631	1.06309+-	0.00571	0.99+- 0.09 -0.1
KPXC	KPXU	* 0.18140+-	0.02053	1.57075+-	3.70920	8.66+-20.47 0.4
CAXC	CAXU	* 0.10944+-	0.00935	-0.36769+-	5.44507	-3.36+-49.76 -0.1
TIXC	TI XU	* 0.01362+-	0.00117	0.00995+-	0.35544	0.73+-26.09 0.0
VAXC	VAXU	* 0.00137+-	0.00009	0.14647+-	0.23124	*****+-***** 0.6
CRXC	CRXU	* 0.00202+-	0.00012	0.00250+-	0.05799	1.24+-28.65 0.0
MNXC	MNXU	* 0.00518+-	0.00037	0.00847+-	0.05679	1.64+-10.97 0.1
FEXC	FEXU	* 0.26233+-	0.01713	0.17609+-	2.23399	0.67+- 8.52 0.0
COXC	COXU	* 0.00009+-	0.00001	-0.01917+-	0.39067	*****+-***** 0.0
NIXC	NIXU	* 0.00077+-	0.00008	0.00077+-	0.00006	1.00+- 0.13 0.0
CUXC	CUXU	* 0.00648+-	0.00037	0.00659+-	0.02517	1.02+- 3.89 0.0
ZNXC	ZNXU	* 0.02676+-	0.00295	0.02604+-	0.04663	0.97+- 1.75 0.0
ASXC	ASXU	* 0.00039+-	0.00005	0.00794+-	0.02773	20.51+-71.71 0.3
SEXC	SEXU	* 0.00115+-	0.00008	0.00116+-	0.01747	1.01+-15.19 0.0
RBXC	RBXU	* 0.00047+-	0.00003	0.00032+-	0.00794	0.68+-16.85 0.0
SRXC	SRXU	* 0.00106+-	0.00010	0.00106+-	0.01636	1.00+-15.44 0.0
YTXC	YTXU	* 0.00005+-	0.00000	-0.00174+-	0.00874	*****+-***** -0.2
MOXC	MOXU	* 0.00033+-	0.00003	-0.00247+-	0.03769	-7.52+-***** -0.1
PDXC	PDXU	* 0.00001+-	0.00000	0.00001+-	0.00004	0.97+- 2.51 0.0
AGXC	AGXU	* 0.00011+-	0.00004	0.00166+-	0.07631	15.48+-***** 0.0
CDXC	CDXU	* 0.00017+-	0.00001	0.00444+-	0.06811	25.65+-***** 0.1
SNXC	SNXU	* 0.00429+-	0.00024	0.00429+-	0.00006	1.00+- 0.06 0.0
SBXC	SBXU	* 0.00232+-	0.00013	-0.01499+-	0.30106	-6.46+-***** -0.1
BAXC	BAXU	* 0.00883+-	0.00072	0.47221+-	1.19388	53.50+-***** 0.4
LAXC	LAXU	* 0.00018+-	0.00001	-0.04459+-	1.64343	*****+-***** 0.0
CEXC	CEXU	* 0.00018+-	0.00001	0.00018+-	0.00000	1.00+- 0.06 0.0
NDXC	NDXU	* 0.00007+-	0.00000	0.00007+-	0.00000	1.00+- 0.06 0.0
PBXC	PBXU	* 0.00501+-	0.00041	0.00501+-	0.02494	1.00+- 4.98 0.0
URXC	URXU	* 0.00001+-	0.00000	-0.00025+-	0.02222	*****+-***** 0.0

Chemical Mass Balance Version EPA-CMB8.2
Report Date: 21/12/2015

SAMPLE:

SITE: Muestra4
 SAMPLE DATE: 02/12/15
 DURATION: 5.
 START HOUR: 0.
 SIZE: FINE

OPTIONS:

BRITT & LUECKE: No
 SOURCE ELIMINATION: No
 BEST FIT: No

INPUT FILES:

PR1au5.se1
 SP1au5.se1
 ADbuc.dbf
 PRbucf.dbf

Species Array: 5
 Sources Array: 7

FITTING STATISTICS:

R SQUARE 1.00 % MASS 117.6
 CHI SQUARE 0.12 DEGREES FREEDOM 5

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES:

SOURCE	EST CODE	NAME	SCE(µg/m³)	Std Err	Tstat
YES	BUC001	BDUST01	3.67208	1.70469	2.15410
NO	BUC002	BWEAR01	-32.71463	39.41681	-0.82997
NO	BUC003	BWEARLW	15.95974	40.70008	0.39213
YES	BUC004	BWEARAMC	15.68429	19.16169	0.81852
YES	BUC005	BWEARPAC	-29.60297	36.33210	-0.81479
YES	BUC006	BWEARS01	0.36847	0.32937	1.11872
NO	BUC007	BWEARS02	8.91545	38.83899	0.22955
NO	BUC008	CHARBC01	-164.73451	882.21295	-0.18673
NO	BUC009	FDCON1	-432.82837	950.82465	-0.45521
NO	BUC010	CONST	413.61554	932.90985	0.44336
NO	BUC011	CONVID01	112.39073	317.37515	0.35413
NO	BUC012	CONVTC01	532.56927	1234.74280	0.43132
NO	BUC013	BVCAT02	28.77640	56.62808	0.50816
NO	BUC017	DIESE01	24.87733	491.57336	0.05061
NO	BUC018	TOS2	-532.92072	1684.19360	-0.31642
NO	BUC019	DIESEL01	-59.90321	172.85809	-0.34655
NO	BUC021	DIEST02	-279.60712	710.29358	-0.39365
YES	BUC022	ECRUST01	1.41757	0.10909	12.99476
NO	BUC024	PCHKG03	-0.60601	9.78429	-0.06194
NO	BUC025	PHAUTO	-5.06456	113.63091	-0.04457
YES	BUC026	GASLIGHT	-0.30272	1.22564	-0.24699
NO	BUC029	RORDFDU	-36.61988	31.47053	-1.16362
NO	BUC032	MECHARE	106.38285	99.87315	1.06518
NO	BUC033	MECOCHAR	269.38736	342.23828	0.78713
NO	BUC034	MECOFRY	-15.54043	42.06750	-0.36942
YES	BUC036	MOTOR01	-0.92067	7.24892	-0.12701
NO	BUC039	PSPR01	85.83748	104.36289	0.82249
NO	BUC041	GCYSTC3	73.71102	197.50740	0.37321
YES	BUC045	ROILO1	8.88299	4.43079	2.00483
YES	BUC047	RFDST	0.25614	0.66501	0.38517
YES	BUC053	TRANS01	0.29809	2.85150	0.10454
NO	BUC056	BVBURN13	22.15472	50.02552	0.44287
NO	BUC059	WOSDUST	-90.83814	154.62856	-0.58746

 42.95358

MEASURED CONCENTRATION FOR SIZE: FINE
 36.5+- -99.0

Eligible Space Collinearity Display

ELIGIBLE SPACE DIM. = 14 FOR MAX. UNC. = 7.30600 (20.% OF TOTAL MEAS. MASS)

1 / Singular Value

0.00794	0.07671	0.26781	0.32363	0.43093	0.93663	0.95725	1.04762
1.67677	2.73209	3.13476	3.90183	6.37809	6.94439	8.45376	9.03182
9.42233	13.64425	14.74725	17.42796	22.03072	29.76473	30.86900	38.93050
67.55482	76.77835	*****	*****	*****	*****	*****	*****

NUMBER ESTIMABLE SOURCES = 10 FOR MIN. PROJ. = 0.95

PROJ. SOURCE	PROJ. SOURCE	PROJ. SOURCE	PROJ. SOURCE	PROJ. SOURCE
0.9997 BUC001	0.7593 BUC002	0.5941 BUC003	0.9669 BUC004	0.9719 BUC005
1.0000 BUC006	0.7491 BUC007	0.0738 BUC008	0.1147 BUC009	0.1125 BUC010
0.1892 BUC011	0.0527 BUC012	0.1213 BUC013	0.1737 BUC017	0.0800 BUC018
0.2403 BUC019	0.0480 BUC021	1.0000 BUC022	0.8820 BUC024	0.6835 BUC025
0.9999 BUC026	0.8041 BUC029	0.1714 BUC032	0.1768 BUC033	0.6108 BUC034
0.9970 BUC036	0.3171 BUC039	0.1334 BUC041	0.9956 BUC045	0.9984 BUC047

0.9999 BUC053 0.0768 BUC056 0.1339 BUC059

ESTIMABLE LINEAR COMBINATIONS OF INESTIMABLE SOURCES									
COEFF.	SOURCE	COEFF.	SOURCE	COEFF.	SOURCE	COEFF.	SOURCE	SCE	Std Err
0.0060	BUC002	-.0017	BUC003	0.0793	BUC007	-.1144	BUC008	610.16229+-	3.04950
-.1126	BUC009	0.1795	BUC010	0.6901	BUC011	0.6111	BUC012	610.16229+-	3.04950
-.0671	BUC013	-.0697	BUC017	-.1403	BUC018	0.0722	BUC019	610.16229+-	3.04950
0.1005	BUC021	-.1211	BUC024	0.0241	BUC025	-.0812	BUC029	610.16229+-	3.04950
-.0375	BUC032	0.0584	BUC033	0.0312	BUC034	0.0706	BUC039	610.16229+-	3.04950
0.0760	BUC041	-.0546	BUC056	-.0173	BUC059			610.16229+-	3.04950
0.0122	BUC002	-.0103	BUC003	0.0127	BUC007	0.0240	BUC008	19.84337+-	3.65619
0.0485	BUC009	-.1007	BUC010	-.1048	BUC011	0.1443	BUC012	19.84337+-	3.65619
0.0185	BUC013	0.0106	BUC017	0.0239	BUC018	0.0655	BUC019	19.84337+-	3.65619
0.0398	BUC021	-.0592	BUC024	-.0730	BUC025	-.0172	BUC029	19.84337+-	3.65619
-.3140	BUC032	0.2405	BUC033	-.8830	BUC034	-.0267	BUC039	19.84337+-	3.65619
0.0290	BUC041	0.0000	BUC056	-.0310	BUC059			19.84337+-	3.65619
-.0487	BUC002	0.0419	BUC003	-.0521	BUC007	-.0955	BUC008	48.74485+-	6.37504
-.1955	BUC009	0.4017	BUC010	0.4196	BUC011	-.5518	BUC012	48.74485+-	6.37504
-.0658	BUC013	-.0498	BUC017	-.0529	BUC018	-.2628	BUC019	48.74485+-	6.37504
-.0192	BUC021	0.0533	BUC024	-.1905	BUC025	0.0094	BUC029	48.74485+-	6.37504
0.2136	BUC032	-.1293	BUC033	-.3260	BUC034	-.0553	BUC039	48.74485+-	6.37504
-.0071	BUC041	0.0671	BUC056	0.0968	BUC059			48.74485+-	6.37504
-.0168	BUC002	-.0057	BUC003	0.0831	BUC007	-.0665	BUC008	161.54662+-	6.85638
-.0890	BUC009	-.0944	BUC010	0.0695	BUC011	0.1039	BUC012	161.54662+-	6.85638
0.0981	BUC013	-.2268	BUC017	-.0544	BUC018	0.4262	BUC019	161.54662+-	6.85638
-.6118	BUC021	0.3213	BUC024	-.2259	BUC025	0.2260	BUC029	161.54662+-	6.85638
0.0272	BUC032	-.2635	BUC033	-.0775	BUC034	-.0275	BUC039	161.54662+-	6.85638
-.1768	BUC041	0.1488	BUC056	-.0156	BUC059			161.54662+-	6.85638

SPECIES CONCENTRATIONS:

SPECIES	FIT	MEASURED	CALCULATED	CALCULATED		RESIDUAL
				MEASURED	UNCERTAINTY	
TMAC	TMAU	36.53000+-*****	42.95358+-*****	1.18+-	8.22	0.0
ECTC	ECTU	* 5.36864+-	5.40742+-26.54808	1.01+-	4.95	0.0
OCTC	OCTU	* 2.54000+-	2.54705+-24.32154	1.00+-	9.58	0.0
CLXC	CLXU	* 0.01990+-	-0.14505+- 1.36580	-7.29+-	-68.63	-0.1
N3IC	N3IU	* 0.67849+-	0.67748+- 0.47972	1.00+-	0.71	0.0
PHXC	PHXU	-99.00000+-*****	0.00000+- 0.00000	0.00+-	0.00	1.0
S4IC	S4IU	* 4.65252+-	4.69178+- 1.45859	1.01+-	0.33	0.0
NAAC	NAAU	* 0.47010+-	0.47032+- 0.43761	1.00+-	0.94	0.0
N4CC	N4CU	* 1.93753+-	1.88758+- 1.18385	0.97+-	0.62	0.0
KPAC	KPAU	* 0.43116+-	0.49222+- 0.69478	1.14+-	1.62	0.1
NAXC	NAXU	* 0.43546+-	0.43041+- 0.61786	0.99+-	1.42	0.0
MGXC	MGXU	* 0.05633+-	-0.02554+- 1.05079	-0.45+-	-18.66	-0.1
ALXC	ALXU	* 0.12336+-	7.04571+-31.79253	57.12+-	*****	0.2
PHXC2	PHXU2	* 0.01888+-	0.04568+- 0.37927	2.42+-	-20.09	0.1
SUXC	SUXU	* 1.57596+-	1.56688+- 0.00445	0.99+-	0.09	-0.1
KPXC	KPXU	* 0.38450+-	4.54196+- 5.90594	11.81+-	-15.42	0.7
CAXC	CAXU	* 0.10983+-	-0.65450+- 8.60740	-5.96+-	-78.37	-0.1
TIXC	TI XU	* 0.01795+-	0.01075+- 0.57934	0.60+-	-32.28	0.0
VAXC	VAXU	* 0.00161+-	0.20836+- 0.37519	*****+-	*****	0.6
CRXC	CRXU	* 0.00226+-	0.00588+- 0.09256	2.60+-	-40.98	0.0
MNXC	MNXU	* 0.00578+-	0.01025+- 0.08947	1.77+-	-15.49	0.0
FEXC	FEXU	* 0.35080+-	0.23551+- 3.48753	0.67+-	9.94	0.0
COXC	COXU	* 0.00010+-	-0.03010+- 0.62035	*****+-	*****	0.0
NIXC	NIXU	* 0.00088+-	0.00089+- 0.00005	1.00+-	0.13	0.0
CUXC	CUXU	* 0.00641+-	0.00667+- 0.04144	1.04+-	6.47	0.0
ZNXC	ZNXU	* 0.02455+-	0.02241+- 0.10487	0.91+-	4.27	0.0
ASXC	ASXU	* 0.00041+-	0.00840+- 0.05343	20.33+-	*****	0.1
SEXC	SEXU	* 0.00168+-	0.00232+- 0.03343	1.38+-	-19.94	0.0
RBXC	RBXU	* 0.00100+-	0.00069+- 0.01279	0.69+-	-12.80	0.0
SRXC	SRXU	* 0.00122+-	0.00124+- 0.02682	1.02+-	-22.04	0.0
YTXC	YTXU	* 0.00005+-	-0.00384+- 0.01370	*****+-	*****	-0.3
MOXC	MOXU	* 0.00032+-	-0.00591+- 0.07055	*****+-	*****	-0.1
PDXC	PDXU	* 0.00002+-	0.00002+- 0.00005	0.97+-	2.52	0.0
AGXC	AGXU	* 0.00007+-	0.00965+- 0.15508	*****+-	*****	0.1
CDXC	CDXU	* 0.00046+-	0.00706+- 0.11300	15.25+-	*****	0.1
SNXC	SNXU	* 0.00191+-	0.00191+- 0.00007	1.00+-	0.07	0.0
SBXC	SBXU	* 0.00178+-	-0.02511+- 0.46919	*****+-	*****	-0.1
BAXC	BAXU	* 0.00842+-	0.75126+- 2.02464	89.24+-	*****	0.4
LAXC	LAXU	* 0.00021+-	-0.06755+- 2.70376	*****+-	*****	0.0
CEXC	CEXU	* 0.00019+-	0.00019+- 0.00000	1.00+-	0.06	0.0
NDXC	NDXU	* 0.00008+-	0.00008+- 0.00000	1.00+-	0.08	0.0
PBXC	PBXU	* 0.00517+-	0.00517+- 0.04786	1.00+-	9.25	0.0
URXC	URXU	* 0.00001+-	-0.00030+- 0.03450	*****+-	*****	0.0

Chemical Mass Balance Version EPA-CMB8.2
Report Date: 21/12/2015

SAMPLE:		OPTIONS:		INPUT FILES:
SITE:	Muestra5	BRITT & LUECKE:	No	
SAMPLE DATE:	03/20/15	SOURCE ELIMINATION:	No	PR1au5.se1
DURATION:	4.	BEST FIT:	No	SP1au5.se1
START HOUR:	0.			
SIZE:	FINE			ADbuc.dbf
				PRbucf.dbf

Species Array: 5
Sources Array: 7

FITTING STATISTICS:

R SQUARE	1.00	% MASS	112.7
CHI SQUARE	0.10	DEGREES FREEDOM	5

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES:

SOURCE	EST CODE	NAME	SCE(µg/m³)	Std Err	Tstat
YES	BUC001	BDUST01	4.19620	1.49262	2.81131
NO	BUC002	BWEAR01	-25.84687	30.78276	-0.83965
NO	BUC003	BWEARLW	10.64254	31.31868	0.33981
YES	BUC004	BWEARAMC	11.94153	15.32415	0.77926
YES	BUC005	BWEARPAC	-21.58190	28.93539	-0.74587
YES	BUC006	BWEARS01	0.26861	0.25717	1.04450
NO	BUC007	BWEARS02	8.80664	29.40198	0.29953
NO	BUC008	CHARBC01	-127.04514	700.97900	-0.18124
NO	BUC009	FDCON1	-362.31140	740.30841	-0.48941
NO	BUC010	CONST	351.98172	724.36639	0.48592
NO	BUC011	CONVID01	68.50948	256.04715	0.26757
NO	BUC012	CONVTC01	343.12366	1011.03113	0.33938
NO	BUC013	BVCAT02	24.08087	44.14502	0.54549
NO	BUC017	DIESE01	26.21957	391.60440	0.06695
NO	BUC018	TOS2	-321.47888	1351.86035	-0.23780
NO	BUC019	DIESEL01	-26.48776	141.94621	-0.18660
NO	BUC021	DIEST02	-214.57288	548.42535	-0.39125
YES	BUC022	ECRUST01	1.16314	0.09091	12.79491
NO	BUC024	PCHKG03	-0.49776	8.23520	-0.06044
NO	BUC025	PHAUTO	-10.59429	90.94206	-0.11649
YES	BUC026	GASLIGHT	-0.25445	1.01905	-0.24969
NO	BUC029	RORDFDU	-26.79285	25.45243	-1.05266
NO	BUC032	MECHARE	63.68213	78.64828	0.80971
NO	BUC033	MECOCHAR	193.47168	268.87964	0.71955
NO	BUC034	MECOFRY	-9.02885	33.79038	-0.26720
YES	BUC036	MOTOR01	-0.89508	5.11019	-0.17516
NO	BUC039	PSPR01	63.63153	82.67654	0.76964
NO	BUC041	GCYSTC3	44.16309	160.38699	0.27535
YES	BUC045	ROILO1	6.51919	3.39980	1.91752
YES	BUC047	RFDST	0.18974	0.49247	0.38528
YES	BUC053	TRANS01	0.27198	2.15055	0.12647
NO	BUC056	BVBURN13	16.34236	40.46991	0.40382
NO	BUC059	WOSDUST	-63.71121	123.75400	-0.51482

28.10631

MEASURED CONCENTRATION FOR SIZE: FINE
24.9+- -99.0

Eligible Space Collinearity Display

ELIGIBLE SPACE DIM. = 12 FOR MAX. UNC. = 4.98800 (20.% OF TOTAL MEAS. MASS)

1 / Singular Value

0.00524	0.06693	0.21428	0.27706	0.29214	0.72613	0.75529	0.87544
1.46052	2.25226	2.62859	3.33284	5.44881	5.78939	6.05684	7.28771
8.18527	10.50946	11.89054	12.35406	17.97926	23.59724	25.14006	29.84126
52.87898	60.82430	*****	*****	*****	*****	*****	*****

NUMBER ESTIMABLE SOURCES = 10 FOR MIN. PROJ. = 0.95

PROJ. SOURCE	PROJ. SOURCE	PROJ. SOURCE	PROJ. SOURCE	PROJ. SOURCE
0.9984 BUC001	0.4230 BUC002	0.5771 BUC003	0.9653 BUC004	0.9600 BUC005
1.0000 BUC006	0.7080 BUC007	0.0242 BUC008	0.1171 BUC009	0.1151 BUC010
0.1390 BUC011	0.0389 BUC012	0.0530 BUC013	0.0517 BUC017	0.0308 BUC018
0.1820 BUC019	0.0255 BUC021	1.0000 BUC022	0.7683 BUC024	0.2454 BUC025
0.9999 BUC026	0.5288 BUC029	0.0571 BUC032	0.0634 BUC033	0.1630 BUC034
0.9970 BUC036	0.2682 BUC039	0.1298 BUC041	0.9954 BUC045	0.9980 BUC047

0.9998 BUC053 0.0761 BUC056 0.0975 BUC059

ESTIMABLE LINEAR COMBINATIONS OF INESTIMABLE SOURCES									
COEFF.	SOURCE	COEFF.	SOURCE	COEFF.	SOURCE	COEFF.	SOURCE	SCE	Std Err
0.0027	BUC002	-.0127	BUC003	0.0811	BUC007	-.1178	BUC008	291.94641+-	2.56596
-.1177	BUC009	0.1886	BUC010	-.7141	BUC011	0.5637	BUC012	291.94641+-	2.56596
-.1363	BUC013	0.0659	BUC017	-.1618	BUC018	0.0786	BUC019	291.94641+-	2.56596
0.0743	BUC021	-.0528	BUC024	0.0982	BUC025	-.1130	BUC029	291.94641+-	2.56596
-.0388	BUC032	-.0364	BUC033	-.0086	BUC034	-.0005	BUC039	291.94641+-	2.56596
-.0916	BUC041	0.0692	BUC056	-.0141	BUC059			291.94641+-	2.56596
0.0133	BUC002	-.0084	BUC003	0.0122	BUC007	0.0238	BUC008	11.13101+-	3.19116
0.0504	BUC009	-.1029	BUC010	0.0951	BUC011	0.1482	BUC012	11.13101+-	3.19116
0.0053	BUC013	-.0199	BUC017	0.0118	BUC018	0.0657	BUC019	11.13101+-	3.19116
0.0297	BUC021	-.0681	BUC024	0.0265	BUC025	-.0386	BUC029	11.13101+-	3.19116
-.1042	BUC032	-.0156	BUC033	0.7708	BUC034	0.5793	BUC039	11.13101+-	3.19116
0.0098	BUC041	0.0005	BUC056	-.0375	BUC059			11.13101+-	3.19116

SPECIES CONCENTRATIONS:

SPECIES	FIT	MEASURED	CALCULATED	CALCULATED		RESIDUAL	
				MEASURED	UNCERTAINTY		
TMAC	TMAU	24.94000+-*****	28.10631+-*****	1.13+-	9.85	0.0	
ECTC	ECTU	* 3.66160+-	0.05849	3.69479+-17.49252	1.01+-	4.78	0.0
OCTC	OCTU	* 5.07000+-	0.31000	5.09382+-16.71977	1.00+-	3.30	0.0
CLXC	CLXU	* 0.00385+-	0.00049	-0.14029+- 1.13132	*****+-*****		-0.1
N3IC	N3IU	* 0.15503+-	0.01590	0.15355+- 0.59087	0.99+-	3.81	0.0
PHXC	PHXU	0.04995+-	0.00993	0.00000+- 0.00000	0.00+-	0.00	-5.0
S4IC	S4IU	* 3.46520+-	0.34704	3.49111+- 1.14308	1.01+-	0.34	0.0
NAAC	NAAU	* 0.20385+-	0.03137	0.20475+- 0.31127	1.00+-	1.53	0.0
N4CC	N4CU	* 1.26702+-	0.12711	1.22926+- 0.99053	0.97+-	0.79	0.0
KPAC	KPAU	* 0.31414+-	0.04797	0.36538+- 0.57031	1.16+-	1.82	0.1
NAXC	NAXU	* 0.19509+-	0.01737	0.19181+- 0.51118	0.98+-	2.62	0.0
MGXC	MGXU	* 0.03603+-	0.00277	-0.03092+- 0.88570	-0.86+-	-24.58	-0.1
ALXC	ALXU	* 0.12041+-	0.01107	4.65090+-26.82993	38.62+-*****		0.2
PHXC2	PHXU2	* 0.01862+-	0.00137	0.03844+- 0.31489	2.06+-	-16.91	0.1
SUXC	SUXU	* 1.20333+-	0.11204	1.19704+- 0.00328	0.99+-	0.09	-0.1
KPXC	KPXU	0.33043+-	0.03709	2.58744+- 4.97955	7.83+-	-15.10	0.5
CAXC	CAXU	* 0.09959+-	0.00855	-0.41417+- 7.24845	-4.16+-	-72.79	-0.1
TIXC	TIXU	* 0.01342+-	0.00113	0.00872+- 0.47571	0.65+-	-35.45	0.0
VAXC	VAXU	* 0.00117+-	0.00009	0.15888+- 0.30251	*****+-*****		0.5
CRXC	CRXU	* 0.00170+-	0.00011	0.00331+- 0.07738	1.95+-	-45.55	0.0
MNXC	MNXU	* 0.00378+-	0.00025	0.00749+- 0.07555	1.98+-	-19.98	0.0
FEXC	FEXU	* 0.16821+-	0.01210	0.06890+- 2.95437	0.41+-	-17.56	0.0
COXC	COXU	* 0.00007+-	0.00001	-0.02379+- 0.52337	*****+-*****		0.0
NIXC	NIXU	* 0.00061+-	0.00007	0.00061+- 0.00003	1.00+-	0.12	0.0
CUXC	CUXU	* 0.00690+-	0.00044	0.00710+- 0.03573	1.03+-	5.18	0.0
ZNXC	ZNXU	* 0.02082+-	0.00231	0.01939+- 0.08199	0.93+-	3.94	0.0
ASXC	ASXU	* 0.00038+-	0.00005	0.00610+- 0.03801	16.27+-*****		0.2
SEXC	SEXU	* 0.00118+-	0.00011	0.00132+- 0.02191	1.12+-	-18.63	0.0
RBXC	RBXU	* 0.00071+-	0.00005	0.00050+- 0.01064	0.71+-	-15.05	0.0
SRXC	SRXU	* 0.00117+-	0.00011	0.00119+- 0.02201	1.01+-	-18.75	0.0
YTXC	YTXU	0.00005+-	0.00000	-0.00292+- 0.01176	*****+-*****		-0.3
MOXC	MOXU	* 0.00027+-	0.00003	-0.00294+- 0.04774	*****+-*****		-0.1
PDXC	PDXU	* 0.00001+-	0.00000	0.00001+- 0.00004	0.98+-	2.53	0.0
AGXC	AGXU	* 0.00007+-	0.00002	0.00390+- 0.09406	59.10+-*****		0.0
CDXC	CDXU	* 0.00027+-	0.00001	0.00472+- 0.08574	17.16+-*****		0.1
SNXC	SNXU	* 0.00120+-	0.00007	0.00120+- 0.00005	1.00+-	0.08	0.0
SBXC	SBXU	* 0.00190+-	0.00013	-0.02122+- 0.39778	*****+-*****		-0.1
BAXC	BAXU	* 0.00875+-	0.00069	0.52986+- 1.56151	60.53+-*****		0.3
LAXC	LAXU	* 0.00014+-	0.00001	-0.07181+- 2.13193	*****+-*****		0.0
CEXC	CEXU	* 0.00017+-	0.00001	0.00017+- 0.00000	1.00+-	0.06	0.0
NDXC	NDXU	* 0.00006+-	0.00000	0.00006+- 0.00000	1.00+-	0.08	0.0
PBXC	PBXU	* 0.00418+-	0.00037	0.00420+- 0.03834	1.00+-	9.17	0.0
URXC	URXU	* 0.00001+-	0.00000	-0.00026+- 0.02930	*****+-*****		0.0