

COMPOSICIÓN Y CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN EL AIRE DE UN SECTOR DEL ÁREA URBANA DE SANTA MARTA (MAGDALENA, COLOMBIA)

COMPOSITION AND CONCENTRATION OF AERIAL PARTICULATE MATERIAL IN A SECTOR OF SANTA MARTA CITY (MAGDALENA, COLOMBIA)

Gustavo Manjarrés García, Gustavo Manjarrés Pinzón y Jean Linero Cueto

RESUMEN

Se registran la composición y las concentraciones promedios ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de material particulado suspendido en el aire de un sector correspondiente al área urbana de la ciudad de Santa Marta, departamento del Magdalena, Colombia, utilizando el método gravimétrico con un equipo muestreador de alto volumen y difracción de Rayos X. Los minerales que constituyen al material particulado corresponden a carbón mineral y de combustión, halita, cuarzo, feldespatos y arcillas. Las concentraciones promedios oscilaron entre 91.48 y 165.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante los meses de julio a diciembre de 2002.

PALABRAS CLAVES: Composición, concentraciones, material particulado, área urbana.

ABSTRACT

The composition and average concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of particulate material are recorded in one sector, corresponding to urban area of Santa Marta city, (Magdalena, Colombia), with gravimetric methods and X- Rays diffraction spectrometry. The minerals found correspond to mineral and combustion coal, halite, quartz, feldspates and arcillas. The average concentrations are between 91.48 and 165.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, during July to December 2002.

KEY WORDS: Compositions, concentrations, particulate materials, urban area.

INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire no es fenómeno nuevo ya que hace parte de nuestra vida actual y es consecuencia de las diferentes actividades naturales y antropogénicas que se realizan en la naturaleza. Se considera que hay contaminación del aire cuando se altera su composición habitual por la des-

carga de sustancias o compuestos, en condiciones de duración, concentración o intensidad que afectan la vida animal, vegetal, la salud y el bienestar humano (OMS, 1976; OPS, 1978).

El aire que respiramos en nuestras ciudades se encuentra contaminado a diferentes escalas dependiendo del tamaño, densidad de

Dirección de los autores:

Universidad Jorge Tadeo Lozano, Corporación para la Ciencia y la Tecnología (SUMA). E-mail: manja42@hotmail.com (G.M.G). Universidad de Sucre. Facultad de Educación y Ciencias. E-mail: gmanjarres_pinzon@hotmail.com (G.M.P). Universidad del Magdalena. Facultad de Ciencias Básicas. Especialista en Ciencias Físicas. E-mail: linerोजean@yahoo.com.ar (J.L.C).



población y del desarrollo económico social alcanzado.

Dentro de los elementos contaminantes del aire encontramos entre otros la materia particulada, compuestos orgánicos de azufre, nitrógeno, monóxido de carbono, compuestos halogenados y radioactivos (Wark y Warner, 1990).

La materia particulada o simplemente 'partícula' es un término que se emplea para describir la materia sólida y líquida, dispersa y arrastrada por el aire. En general las partículas arrastradas por el aire varían según su tamaño desde 0.0001 a 500 μm . Esta variación en tamaño hace que existan diferencias en su comportamiento en cuanto a su movimiento y velocidad de asentamiento.

La contaminación ambiental por material particulado es un fenómeno muy común en nuestras ciudades o áreas urbanas produciendo entre otros efectos tales como la variación en la visibilidad, deterioro en los materiales, vegetación, problemas en la salud humana y en el bienestar.

La ciudad de Santa Marta, declarada en el año de 1993 como Distrito Turístico Cultural e Histórico ha sido últimamente objeto de un gran crecimiento, desarrollándose diferentes actividades comerciales e industriales, observándose además un aumento en el flujo vehicular.

El presente estudio, considerado como preliminar, tiene como objetivo evaluar la composición del material particulado proveniente de filtros utilizados en la determinación de las concentraciones provenientes de los muestreos de calidad del aire, en un sector correspondiente al área urbana de la ciudad

de Santa Marta, e identificando algunas de sus posibles causas o fuentes de emisión.

Hasta el momento de la presente, no se conoce un estudio publicado, tendiente a evaluar la composición del material particulado y sus concentraciones en la ciudad de Santa Marta, razón por la cual este trabajo, se considera de gran importancia ya que puede servir de base para posteriores estudios y como elemento para la realización de un diagnóstico ambiental de la ciudad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los métodos para la toma, valoración y análisis de los contaminantes del aire deben ser elegidos con el mayor cuidado posible, teniendo en cuenta siempre la finalidad de los análisis que vayan a efectuarse y los recursos disponibles. Para el desarrollo del presente trabajo se tomó un sector del área urbana de la ciudad de Santa Marta, teniendo en cuenta que es considerado como el de mayor actividad, tanto comercial e industrial, como de flujo vehicular.

Selección de sitios de muestreo. Para la realización del presente estudio se seleccionaron cinco (5) estaciones correspondientes a la parte urbana central de la ciudad de Santa Marta, delimitada por el cinturón vial correspondiente a la calle 22, Avenida el Ferrocarril y Carrera 1. Las estaciones corresponden a:

- Estación 1. Calle 22 con Avda. del Ferrocarril.
- Estación 2. Avda. del Ferrocarril con calle 11
- Estación 3. Avda. del Ferrocarril con carrera 1
- Estación 4. Calle 22 con carrera 1
- Estación 5. Calle 22 con carrera 5

En la figura 1 se muestra la ubicación de cada una de las estaciones de muestreo.

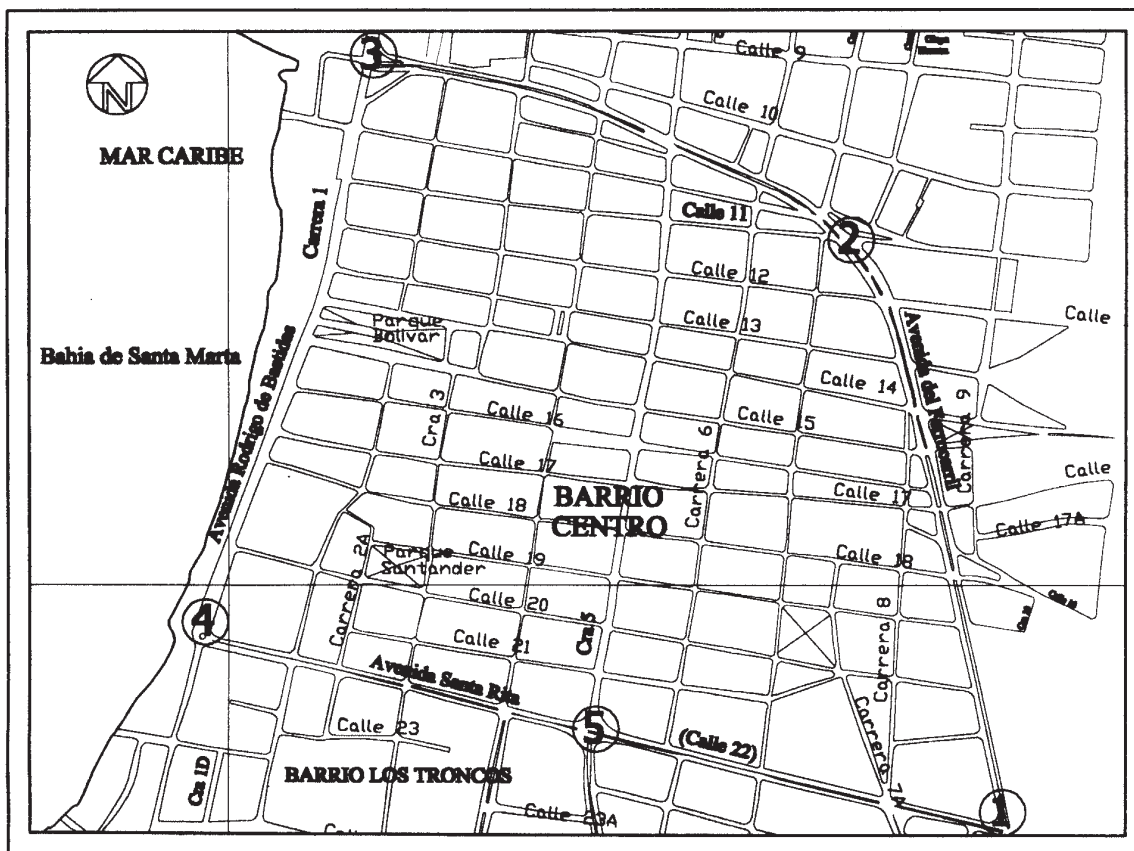


Figura 1. Ubicación de las diferentes estaciones de muestreo.

1. Calle 22 con Avda. del Ferrocarril.
2. Avda. del Ferrocarril con calle 11
3. Avda. del Ferrocarril con carrera 1
4. Calle 22 con carrera 1
5. Calle 22 con carrera 5

Frecuencia de muestreo. Se tomó como frecuencia mínima de muestreo, una muestra tomada en forma continua, durante 24 horas cada 3 días, para un total de 60 muestras por estación. Estos muestreos se realizaron mensualmente durante un periodo de seis (6) meses correspondientes a los meses de julio – diciembre 2002.

Método de análisis. Método gravimétrico con equipo muestreador de alto volumen (Hi – Vol) Graseby-Andersen, según lo establecido por la Legislación Colombiana.

Cálculo de la concentración de partículas en suspensión. Se realizó utilizando la siguiente expresión:

$$C = ((P_f + P_i) * 10^6) / V$$

Donde:

- C = concentración de la masa de partículas en suspensión en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- P_i = peso inicial del filtro en gramos.
- P_f = peso final del filtro en gramos.
- V = volumen de aire muestreado en m^3 .
- 10^6 = factor de conversión de gramos a microgramos.

Análisis de datos. En concordancia con el objetivo planteado, el análisis de los datos se realizó utilizando la metodología establecida por CEPIS (1982), registrando los valores mínimos, máximos y promedios aritméticos mensuales.

Análisis químicos cualitativos del material particulado. Dentro de este tipo de análisis se utilizó la técnica del ensayo de la gota, la cual consistió en el montaje de una muestra proveniente de un filtro en un porta objeto horadado, haciéndola reaccionar luego con reactivos orgánicos e inorgánicos para confirmar la presencia de un constituyente químico o grupo de iones o radicales por medio de reacciones específicas (formación de color, efervescencia, cambio de polaridad etc.). Para la determinación de carbonatos se utilizó como reactivo específico el ácido clorhídrico 6M y para las fibras orgánicas el ácido sulfúrico concentrado.

Identificación microscópica de minerales. Para la identificación microscópica de los minerales procedentes de los diferentes filtros, se utilizaron microscopios Olympus Ck2 – Leitz petrográfico con sus respectivos accesorios (objetivos y oculares, ilumina-

dor Koehler, contraste de fase para su observación simple y campo oscuro). Las muestras fueron montadas en porta objetos de vidrio y diseminadas en una solución alcohol, agua, utilizando como criterio de identificación algunas propiedades físicas tales como exfoliación, brillo, color y simetría cristalina, utilizando la metodología establecida en Heinrich (1965).

Tamaño de las partículas. Para determinar el tamaño de las partículas se utilizó un ocular y un portaobjeto micrométrico, registrándose el diámetro promedio de las partículas más dominantes.

Análisis difractométrico de rayos X. Para la realización de este análisis se tomó al azar un filtro de cada estación y se envió al Laboratorio de Difracción de rayos X de la Escuela de Química de la Universidad Industrial de Santander.

Este análisis consistió en la preparación y montaje de la muestra y se sometió a radiación haciéndose un barrido, obteniéndose espectros de radiaciones diferentes, registrándose como difractogramas (ver tablas 1 y 2), los cuales son comparados con tablas

Tabla. 1. Valores promedios mensuales de las concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de material particulado en las diferentes estaciones de muestreo.

Estaciones	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	91.48	96.36	2125.09	129.51	147.54	165.63
2	94.99	122.73	102.29	133.94	125.09	135.27
3	122.64	125.49	125.09	135.37	156.18	165.63
4	94.99	96.36	91.48	122.73	127.72	133.94
5	96.36	116.09	125.09	102.29	122.73	129.51

Tabla 2. Análisis mineralógico bajo microscopía (valoración cualitativa expresada como presencia-ausencia)

Estaciones	Carbonatos	Halita	Feldespato	Cuarzo	Micas	Carbón mineral	Carbón combustión	Arcillas fracción	Fibras orgánicas
1	0	0	1	1	1	1	1	1	0
2	0	0	1	1	1	1	1	1	0
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	0	1	1	1	1	1	1	1	0
5	0	0	1	1	1	0	1	1	0

estandarizadas de minerales conocidos como Tabla de Hanawalt, reportadas en la base de datos PDF2 del International Centre for Diffraction Data (ICDD), siguiendo las metodologías establecidas en Warner *et al*, (1982); Whitting y Allardice (1986); y Zachariassen (1994).

RESULTADOS

Las observaciones, análisis del material particulado proveniente de los diferentes filtros de los equipos de alto volumen correspondiente a las cinco estaciones de muestreo y los cálculos realizados nos permiten establecer:

Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del material particulado. Los cálculos realizados durante el desarrollo del presente estudio nos arrojó valores promedios entre 125.09 -165.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Las estaciones 1 y 3 correspondientes a la calle 22 - Avenida del Ferrocarril y Carrera 1^a- Avenida del Ferrocarril, registraron los valores más altos en la concentración de

material particulado con 165.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

Las estaciones 2 y 4 correspondientes a la calle 11- Avenida del Ferrocarril – Calle 22- Carrera 1^a, presentan concentraciones de material particulado muy semejantes con 135.37 – 133.94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente las cuales son un poco más bajas que los registrados en las estaciones 1 y 3. La estación 5, calle 22 con carrera 5^a, presentó la menor concentración de material particulado con 125.09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Composición mineralógica general de los filtros bajo Microscopía. La composición mineralógica del material particulado de los filtros esta constituido por los minerales correspondientes a los grupos de los carbonatos, halita, micas, carbón de combustión, cuarzo, feldespatos y fracción de arcillas.

Las partículas correspondientes a los carbonatos se reconocieron porque en contacto con el ácido clorhídrico presentan forma variada, de color blanco a ligeramente amarillo.

La halita se reconoció bajo microscopio por presentar un aspecto cristalino, transparente e incoloro y con un perfecto crucero cúbico. Este tipo de material se registró únicamente en las estaciones 3 y 4.

Las micas se presentan como minerales brillantes y con perfecta exfoliación. Se observaron dos tipos de micas una correspondientes a la biotita de color negro brillante y otra perteneciente a la moscovita, brillante amarillenta. Estas micas se presentaron en todas las estaciones

Las partículas de carbón mineral se reconocieron por presentar un aspecto irregular sin exfoliación y de color negro oscuro no brillante y se registraron en las estaciones 1, 2, 3 y 4.

Las partículas de carbón de combustión se presentan como partículas con aristas irregulares y de color negro menos brillantes que la anterior registrándose en todas las estaciones de muestreo

Las partículas de cuarzo se presentan en forma de cristales hexagonales, incoloros, brillantes y con superficies planas, registrándose al igual que la anterior en todas las estaciones de muestreo.

Los feldespatos se presentan como masas de diversas formas, de color blanco lechoso y no presentan aspectos cristalinos. Estas partículas se registraron en todas las estaciones de muestreo.

La fracción arcilla fue difícil de identificar por su tamaño y por formar aglomerados con otros materiales y/o minerales. La presencia de esta fracción se corroboró con el análisis de difracción de rayos X y se registro en todas las estaciones de muestreo.

Además de los anteriores minerales encontramos un grupo de materiales constituidos por fibras vegetales, las cuales se presentan como filamentos no aplanados e irregulares de color marrón oscuro. Su presencia se detectó por el ennegrecimiento que presenta al entrar en contacto con gotas de ácido sulfúrico concentrado. Este tipo de material se registro únicamente en la estación 3.

Grupos Mineralógicos identificados por Difractometría de Rayos X. El análisis difractométrico de rayos X nos permitió la identificación de los grupos mineralógicos, correspondientes al cuarzo, zeolita, feldespatos, caolinita, micas, berilo, halita, calcita, cordierita, sepiolita y anfibolitas. (Ver tabla 3 – 7).

Tamaño de las partículas. El tamaño promedio de las partículas observadas en los diferentes filtros se encuentran en la categoría de polvos y se pueden clasificar según WARNER, (1981) en partículas en suspensión (diámetro promedio hasta 10 μm) y partículas sedimentables (diámetro promedio superior a 10 μm).

El tamaño promedio para el carbón mineral fue de 14-38 μm , para el carbón de combustión, 6 – 12 μm , halita 2 – 7.2 μm , cuarzo 14 – 44 μm , feldespato 32 – 51 μm y arcilla 3 – 7 μm .

DISCUSIÓN

Los datos y análisis de la calidad del aire están constituidos por una serie de mediciones de las concentraciones en que están presentes un número de contaminantes atmosféricos, mediciones que se pueden tomar continuamente o intermitentemente (CEPIS, 1982).

Tabla. 3. Composición mineralógica por difracción de rayos X de la Estación 1 (Filtro 011)

Nombre de las fases	Composición	Tarjeta PDF-2	Grupo mineralógico a que pertenece
Calcita	CaCO_3	83-1762	Calcita
Phlogopita 1M	$\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	10-492	Mica-trioctaédrica
Phillipsita	$(\text{K},\text{Na})_2(\text{SiAl})_8\text{O}_{10}4\text{H}_2\text{O}$	46-1427	Zeolita-hermotome
Anortita	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	41-1486	Feldespato-plagioclasa
Hotsonita	$\text{Al}_{11}(\text{PO}_4)_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_26\text{H}_2\text{O}$	38-366	
Cuarzo	SiO_2	83-2465	Cuarzo
Nimite	$(\text{Ni},\text{Mg},\text{Al})_6(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	8-22-712	Clorita trioctaédrica
Illita 2 M	$(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$	26-911	Mica- di octaédrica
Grafito	C	25-284	

Tabla. 4. Composición mineralógica por difracción de rayos X de la Estación 2 (Filtro 021)

Nombre de las fases	Composición	Tarjeta PDF-2	Grupo mineralógico a que pertenece
Nimite 1M	$(\text{NiMgAl})_6(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	22-712	Clorita-trioctaédrica
Hotsonita	$\text{Al}_{11}(\text{PO}_4)_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_26\text{H}_2\text{O}$	38-366	
Riebeckita	$\text{Na}_2\text{Fe}_3\text{Fe}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	98-436	Anfiboles
Anortita	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	41-1486	Feldespatos-plagioclasa
Cuarzo	SiO_2	46-1045	Cuarzo
Grafito	C	25-284	
Illita 2M	$(\text{KH}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$	26-911	Mica-di octaédrica
Phillipsita	$(\text{K},\text{Na})_2(\text{SiAl})_8\text{O}_{10}4\text{H}_2\text{O}$	46-1427	Zeolita-hermotome
Roninckita	$(\text{Fe},\text{Al})\text{PO}_43\text{H}_2\text{O}$	22-339	
Calcita	CaCO_3	83-1762	Calcita

Tabla. 5. Composición mineralógica por difracción de rayos X de la Estación 3. (Filtro 031)

Composición	Nombre de las fases	Tarjeta PDF-2	Grupo mineralógico a que pertenece
	Hotsonita	$Al_{11}(PO_4)_2(SO_4)_3(OH)_2 \cdot 6H_2O$	38-366
	Phillipsita	$(K,Na)_2(Si,Al)_8O_{10} \cdot 4H_2O$	46-1427
	Illita-2M	$(K,H_3O)Al_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$	26-911
	Clinoclore	$(Mg,Fe)_6(SiAl)_4O_{10}(OH)_8$	29-701
	Halita	NaCl	5-628
	Nimite1 M	$(Ni,Mg,Al)_6(SiAl)_4O_{10}(OH)_8$	22-712
	Grafito	C	25-284
	Cuarzo	SiO_2	83-2465
	Albita	$(Na,Ca)Al(Si,Al)_3O_8$	41-1480

Tabla. 6. Composición mineralógica por difracción de rayos X de la Estación 4 (Filtro 041)

Nombre de las fases	Composición	Tarjeta PDF-2	Grupo mineralógico a que pertenece
Halita	NaCl	5-628	Halita
Hotsonita	$Al_{11}(PO_4)_2(SO_4)_3(OH)_2 \cdot 6H_2O$	38-366	
Anortita	$CaAl_2SiO_2O_8$	41-1486	Feldespatoplagioclase
Phlogopita 1M	$KMg_3(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$	10-495	Mica-trioctaédrica
Calcita	$CaCO_3$	83-1762	Calcita
Phillipsita	$(K,Na)_2(SiAl)_8O_{10} \cdot 4H_2O$	46-1427	Zeolita hermotome
Koninckita	$(Fe,Al)PO_4 \cdot 3H_2O$	22-339	
Illita 2M	$(K,H_3O)Al_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$	26-911	Mica dioctaédrica
Cuarzo	SiO_2	79-1906	Cuarzo
Grafito	C	25-284	

Tabla. 7. Composición mineralógica por difracción de rayos X de la Estación 5 (Filtro 051)

Nombre de las fases	Composición	Tarjeta PDF-2	Grupo mineralógico a que pertenece
Illita-2M	$(K, H_3O)Al_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$	26-911	Mica-dioctaédrica
Koninckita	$(Fe, Al)PO_4 \cdot 3H_2O$	22-339	
Cuarzo	SiO_2	83-2465	Cuarzo
Calcita	$CaCO_3$	83-1762	Calcita
Phillipsita	$(K, Na)_2(SiAl)_8 O_{10} \cdot 4H_2O$	46-1427	Zeolita-hermotome
Nimite 1M	$(NiMgAl)_6 (SiAl)_4 O_{10} (OH)_8$	22-712	Clorita-trioctaédrica
Albita	$(NaCa)Al(SiAl)_3 O_8$	41-1480	Feldespato-plagioclasa
Hotsonita	$Al_{11}(PO_4)_2(SO_4)_3(OH)_2 \cdot 6H_2O$	38-366	
Phlogopita-1M	$KMg_3(Si_3Al)O_{10} (OH)_2$	16-344	Mica trioctaédrica
Grafito	C	26-1079	

Teniendo en cuenta lo anterior, y las observaciones, el análisis del material particulado proveniente de los diferentes filtros de los equipos de alto volumen correspondiente a las cinco estaciones de muestreo y los cálculos realizados nos permiten establecer valores promedios entre 125.09 – 165.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, los cuales nos muestran de una manera general que se encuentra por encima de los establecidos en la legislación Colombiana (Decreto 02 de 1982). Sin embargo, estos datos deben ser tomados con cierta precaución debido a que los muestreos no fueron realizados durante un periodo continuo de un año.

Las estaciones 1 y 3 correspondientes a la calle 22-Avenida del Ferrocarril y Carrera 1ª-Avenida del Ferrocarril, registraron los valores más altos en la concentración de material particulado con 165.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, los cuales se pueden correlacionar con la presencia de fuentes móviles como es el flujo vehicular urbano

existente, el transporte de materiales y especialmente de carbón mineral por medio de tractocamiones y fuentes fijas como la zona Portuaria y Molinos Santa Marta, quienes con sus actividades pueden aportar directa o indirectamente materiales que hacen que aumenten las concentraciones de material particulado en dichas estaciones.

Las estaciones 2 y 4 correspondientes a la calle 11-Avenida del Ferrocarril – Calle 22-Carrera 1ª, presentan concentraciones de material particulado muy semejantes con 135.37 – 133.94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente las cuales son un poco más bajas que los registrados en las estaciones 1 y 3, lo cual se puede explicar por la no presencia de fuentes fijas de emisión, haciendo que disminuya la concentración de fondo.

La estación 5, calle 22 con carrera 5ª, presentó la menor concentración de material particulado con 125.09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ lo cual probablemente se deba a que no existen mu-

chas fuentes de emisión quedando restringidas únicamente al flujo vehicular urbano, especialmente en las horas picos.

A pesar de todo lo anterior, estos datos obtenidos deben ser considerados como preliminares y aunque son básicos e importantes para posteriores estudios, se requieren de monitoreos más constantes y a periodos de tiempo más largos, relacionándolos con variables ambientales tales como la estabilidad atmosférica, velocidad y dirección de los vientos y ante todo los eventos climáticos dominantes en la región, con el fin de establecer su comportamiento espacio – temporal.

La composición mineralógica del material particulado de los filtros está constituida por los minerales correspondientes a los grupos de los carbonatos, halita, micas, carbón de combustión, cuarzo, feldespatos y fracción de arcillas, los cuales son producto de la desintegración y erosión del material litológico que constituyen las rocas ígneas y metamórficas de la región de Santa Marta, tal como lo establecen Doolan y Mac Donald (1976); al igual que la combustión de los diferentes vehículos que circulan en el sector urbano y las cercanías al mar.

El análisis difractométrico de rayos X nos permitió la identificación de los grupos mineralógicos, correspondientes al cuarzo, zeolita, feldespatos, caolinita, micas, berilo, halita, calcita, cordierita, sepiolita y anfibolitas. Los cuales guardan cierta relación con los resultados obtenidos mediante microscopía.

La determinación del tamaño general de las partículas es un parámetro de gran importancia en la evaluación de la contaminación atmosférica, ya que de su tamaño depende su comportamiento e interés para la salud.

Partículas pequeñas ($<10 \mu\text{m}$) pueden ocasionar problemas de tipo respiratorio. (CEPIS, 1982).

El tamaño promedio de las partículas observadas en los diferentes filtros se encuentran en la categoría de polvos, partículas en suspensión (diámetro promedio hasta $10 \mu\text{m}$) y partículas sedimentables (diámetro promedio superior a $10 \mu\text{m}$), según la clasificación de Warner, (1981)

Teniendo en cuenta las actividades de barrido general preliminar realizado y la determinación mineralógica microscópica con base en sus características físicas y químicas y el análisis difractométrico de rayos X se pudo establecer que los minerales más frecuentes en las muestras corresponden a la fracción arcilla, feldespatos, micas y cuarzo, los cuales son minerales dominantes en los suelos y arenas de la región.

La fracción arcilla, feldespato, cuarzo y micas fueron la más frecuente en todas las estaciones de muestreo (1 – 5), los carbonatos solo se registraron en la estación 3 y la halita únicamente en las estaciones 3 – 4.

El análisis y la interpretación de datos de contaminación del aire en términos de material particulado es materia que se encuentra en rápido desarrollo y algunos de los métodos y procedimientos que se utilizan no son de uso universal, razón por la cual se debía propender por una estandarización de los métodos por parte de las entidades que regulan el manejo el medio ambiente.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente trabajo aunque preliminares nos permitió establecer lo siguiente:

Las mayores concentraciones de material particulado se registraron en la estación 1 y 3 con $165.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente y las menores se registraron en la estación 5 con $125.09 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Los valores registrados en las diferentes estaciones de muestreo se encuentran por encima de los establecidos en la Legislación Colombiana I (Decreto 02 de 1982).

Una de las causas de la contaminación atmosférica por material particulado en el sector urbano del área de estudio se debe a fuentes móviles (flujo vehicular y transporte de materiales) y fuentes fijas como el establecimiento de almacenamiento de materiales.

El material particulado colectado en los diferentes filtros provenientes de los equipos de alto volumen tienen diferentes tamaño ($3 - 65 \mu\text{m}$) y se encuentran en la categoría de polvos y partículas sedimentables

Los materiales que constituyen el material particulado de los filtros corresponden a carbón mineral, carbón de combustión, halita, cuarzo, feldspatos y fracción arcilla.

El componente mineral más abundante en los diferentes filtros corresponde al grupo de las arcillas y al carbón de combustión y el menos abundante a los carbonatos y fibras orgánicas.

El análisis difractométrico de rayos X, sigue siendo una técnica muy importante en la valoración de la composición mineralógica de material particulado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar los agradecimientos a José Henao, Director de Labora-

torio de difracción de rayos X de la Facultad de Química de la Universidad Industrial de Santander UIS por el análisis difractométrico de los filtros.

BIBLIOGRAFÍA

CEPIS, 1982. Análisis e interpretación de datos de vigilancia del aire. Documento Técnico 9.

Doolan, B.L. y W.D. Mac Donald. 1976. Structure and metamorphism of schists of the Santa Marta area, Colombia, Gred. Bogotá. (1969). 187-204.

Heinrich, E. 1965. Microscopic identification of minerals. McGraw. Hill Book New York.

Ministerio del Medio Ambiente. 1996. Normas para la protección y el Control de la calidad del aire. 162 p.

Organización Mundial de la Salud, 1976. Selección de procedimientos para medir la contaminación del aire. Publicación científica No 24.

Organización Panamericana de la Salud, 1978. Diseño de programas de vigilancia del aire para zonas urbanas e industriales. Washington. Publicación científica No. 71.

Wark, K. y Warner, C. 1990. Contaminación del aire: Origen y control: Limusa-Noriega Editores. 650 p.

Warner, P.O. 1981. Análisis de los contaminantes del aire. Edit Paraninfo. 366 p.

Warner, C. Frenkiel, N. Kraimer, R. 1982. Identification and quantitative analysis at particulate and contaminants by X-Ray diffraction spectrometry. J. Air Boll. Control Asoc. 22:887-890.

Whitting L. and Allardice. 1986. X-Ray diffraction techniques. Am Soc of Agr. Soil Soc of Am. 677. Madison, U.S.A p. 331-362.

Zachariasen, W. H. 1994. Theory of X-ray diffraction in crystals. Dover Publications, Inc. New York.

Fecha de recepción : 30/09/04

Fecha de aceptación: 08/06/05