

## SEM-EDS IN THE STUDY OF PM10.

Z. Duque <sup>a\*</sup>, J. Castillo<sup>a</sup>, G. Mejías<sup>b</sup>, S. García<sup>b</sup>.

<sup>a</sup>Fundación Instituto Zuliano de Investigaciones Tecnológicas, Estado Zulia, Venezuela.

<sup>b</sup>Centro de Microscopía, Escuela de Ingeniería Metalúrgica, Universidad Central de Venezuela.

\*Autor de Correspondencia: [zduque@inzit.gob.ve](mailto:zduque@inzit.gob.ve), phone/fax: 58-261-7915371.

Recibido: Septiembre 2010. Aprobado: Noviembre 2010.

Publicado: Noviembre 2010.

### ABSTRACT

Atmospheric particulate matter PM10, was evaluated using scanning electron microscopy (SEM) coupled to an X-ray Energy Dispersive Spectrometer with the purpose of characterizing the particles taken at a air quality monitoring station located in the populated area of Santa Cruz de Mara, Zulia State, Venezuela. The study included the filters used in the dry and rainy periods of 2008, which found a group of elements associated with sands and potential metals-containing minerals. Likewise, we found a significant difference between the elemental composition of the wet and dry periods, finding in the latter a large number of minor and trace elements. The back trajectories at the mentioned periods highlight the influence upon PM10 particles of the air masses predominantly from the coast of Falcon State, Coro Dunes and Castillete. With this work were able to find the PM10 elemental chemical profile and its variation depending on the weather conditions of the area, analyzing a total of 3151 particles. Finally, the main morphological characteristics of PTS were determined.

**Key words:** PM10, PTS, SEM-EDS, back trajectories.

### SEM-EDS EN EL ESTUDIO DE LAS PARTÍCULAS PM10.

### RESUMEN

Las partículas suspendidas atmosféricas PM10, son evaluadas utilizando Microscopía Electrónica de Barrido acoplado a un Espectrómetro de Dispersión de Energía de Rayos X, con la finalidad de caracterizar las partículas tomadas en una estación de monitoreo de calidad de aire ubicada en la zona poblada de Santa Cruz de Mara, Estado Zulia, Venezuela. El estudio utilizó los filtros monitoreados en el periodo de sequía y lluvia del 2008, en los cuales se encontró un dominio de elementos asociados a arenas y posibles minerales polimetálicos. Así mismo, se determinó una diferencia significativa entre la química elemental del periodo de lluvia y sequía, encontrando en estas últimas un elevado número de elementos minoritarios y trazas. Las retrotrayectorias de las fechas monitoreadas resaltan una influencia de las masas de aire de forma predominante desde las costas del Estado Falcón, Médanos de Coro y Castillete, en las partículas PM10. Con éste trabajo se logró conocer el perfil químico elemental y su variación según las condiciones climatológicas de la zona, analizando en total 3151 partículas. Finalmente se diferenció las características morfológicas mayoritarias de los PTS.

**Palabras clave:** PM10, PTS, SEM, EDS, Retrotrayectoria.

### INTRODUCCION

Las Partículas Totales Suspendidas (PTS) representan uno de los objetos de estudio que más destacan en países con problemas de polución atmosférica, dada la complejidad y variedad de las mismas, entre las que se encuentran las denominadas respirables PM10 y PM2.5, debido a que por su pequeño tamaño pueden ser inhaladas e incorporadas al organismo por diversos mecanismos, pudiendo generar diversos cuadros clínicos, desde alergias a complicaciones cardiopulmonares, según sean las características de las mismas [1-6].

Los estudios de las partículas suspendidas de fracción respirable han contribuido a la generación de una serie de regulaciones ambientales que exigen a las diferentes industrias realizar monitoreos en sus zonas de influencia, aportando con ello registros que permitan abordar la calidad atmosférica y posibles mejoras a los procesos involucrados en la misma [1,2].

Hoy en día se utilizan términos como toxicidad de

particulados, sin embargo, no se conocen en la mayoría de los casos los perfiles químicos de los mismos, los cuales pueden contribuir a indagar sobre las fuentes de emisión. Aunque existen muchos esfuerzos por cuantificar el tipo de contaminantes, aún no es práctica general identificar las características individuales de los mismos. Además, las PTS suelen modificarse en su tránsito aerodinámico, según las masas de aire o fenómenos de intrusión de masa específicos, que terminan influyendo en su tamaño y morfología [1-5].

La composición química de las partículas suspendidas, suelen ser complejas según el número de fuentes de emisión y tipos de éstas, las cuales pueden ser fuentes naturales (polvo, minerales de la zona, polen, esporas, sales marinas, espermatofitas) y/o fuentes antropogénicas (vehiculares, derivadas de emisiones de los procesos industriales que se desarrollan en la zona). En conjunto con el análisis químico y la caracterización morfológica del particulado se pudiese destacar la presencia de marcadores específicos de origen, en algunas ocasiones las fuentes distan de las áreas de estudio, dado que existe una fuerte influencia de las masas de aire y de la velocidad del viento, parámetros igualmente a ser considerados como incidentes en la variabilidad, así como las precipitaciones, humedades relativas, y, la incidencia solar. [10-13].

Los estudios morfológicos y químicos del PTS se han incrementado dada la disponibilidad de tecnología avanzada como la Microscopía Electrónica de Barrido y la Espectroscopía de Rayos X (SEM-EDS) [1-3, 10-13].

Diferentes investigadores han reportado que las partículas gruesas principales proceden de la erosión y abrasión que generan los vientos en la corteza terrestre, representados por silicatos de aluminio como partículas gruesas (0,1-2 mm) y las partículas finas (0,1-1  $\mu\text{m}$ ) son por las reacciones químicas atmosféricas cuyos reactantes

pueden ser antropogénicos, como las emisiones de combustión [1,2].

El presente trabajo resalta el análisis morfoquímico con SEM-EDS de partículas PM10 monitoreadas en la zona urbana Santa Cruz de Mara, ubicada al norte del estado Zulia, Venezuela. Este estudio corresponde a muestras del periodo de sequía y lluvia del 2008, desconociéndose hasta ahora los perfiles químicos del PTS; dado que principalmente por regulaciones ambientales los monitoreos cuantifican por pérdida de peso el total de PTS sin diferenciar el perfil químico del mismo. Además que en Venezuela se encuentran escasos estudios al respecto [12], por lo que éste estudio aporta importante información para el desarrollo de investigaciones en el área. Para alcanzar los objetivos y alcance del trabajo se utilizó SEM-EDS, analizando con ello las partículas captadas en filtros PM10. Como complemento del estudio se realizó una evaluación de las retrotrayectorias de las zonas monitoreadas para determinar la influencia de la dinámica atmosférica en los resultados obtenidos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Evaluación de las retrotrayectorias

Para la justificación y/o explicación de eventos irregulares en cuanto a la composición física y química de las masas de aire es indispensable la realización de estudios de retrotrayectorias. Éstos consisten en el seguimiento de las partículas que están situadas en diversos puntos, a través del tiempo, hasta donde estaban situadas anteriormente, es decir, se hace un seguimiento de las masas de aire hacia atrás en el tiempo, estudiando su historia y realizando las suposiciones necesarias, en función de las zonas por las cuales ha pasado dicha masa de aire, para así, determinar sus propiedades termodinámicas, para lo cual se utilizó el modelo HYSPLIT (*Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model*), obteniendo las trayectorias del aire durante 36 horas antes de cada captación de

muestra de Partículas Totales Suspensas (PTS), obteniendo información de la divergencia de los flujos en el entorno la estación de monitoreo. El estudio de la procedencia de las masas de aire se fundamentó en el análisis de retrotrayectorias isentrópicas. Los campos de viento y las variables termodinámicas necesarias para el análisis isentrópico fueron generados por GDSA Meteorological. [11-14].

### Evaluación con SEM-EDS

Las muestras fueron tomadas en filtros de fibra de vidrio Whatman grado G 653 de 8 x 10 in, instalados en equipos de Hi-Vol para PM10 (COVENIN Norma 2060-83). El tiempo de captación de partículas totales suspendidas (PTS) por filtro fue de 24 h, la estación de monitoreo de calidad de aire del presente estudio forma parte de la red de monitoreo del Estado Zulia, dispuesta por regulaciones ambientales nacionales. La estación de monitoreo fue denominada como Estación G, para este estudio, en una zona parcialmente poblada (56.739 habitantes en 112 km<sup>2</sup>) a escasos metros de la ribera del Lago de Maracaibo y es paso vial hacia la frontera colombo-venezolana, por lo cual dispone de un tráfico continuo de carga. La Estación se ubica al noreste de Santa Cruz de Mara, en las coordenadas UTM 1194434N – 19206491E (Figura 1).

Los filtros debidamente identificados, contaron con un área de 225 cm<sup>2</sup>. Al ser extraídos fueron preservados en un ambiente regulado de temperatura y humedad, la fracciones para este estudio fueron obtenidas con un cilindro cortante de 1 mm<sup>2</sup> sobre el filtro extrayendo aleatoriamente cinco fracciones esféricas en zonas diferentes. Se extrajeron 2 filtros/mes para un total de 10 fracciones por mes. En este estudio se evaluaron filtros procedentes del periodo de sequía (Ene-Mar) y lluvia (Nov-Dic) del 2008. Adicionalmente, para diferenciar la química elemental del filtro utilizado, se evaluó, igualmente, una fracción nueva sin exposición,

denominado filtro patrón. Todas las muestras fueron metalizadas con Pt/Pd, permitiendo mejor calidad en las micrografías, omitiendo las señales de estos elementos en los análisis semicuantitativos generados.



**Fig. 1.** Ubicación de Santa Cruz de Mara.

El SEM-EDS utilizado fue un HITACHI modelo S-2400. Los microanálisis se realizaron con un EDS marca THERMO modelo 4431-B INUS-SN y el Software capturador NORAN SYSTEM. Los espectros de Rayos X fueron obtenidos a 15 kV con un tiempo de adquisición de 100 s y una rapidez de conteo entre 3000 y 5000 cps. Los elementos más ligeros que el F no fueron cuantificados, dados que el equipo no generaba buena precisión en los mismos. El análisis del particulado se realizó en tres magnificaciones 1500X, 3000X y 5000X para todas las fracciones de filtro por igual, identificando las partículas por campo de observación a cada una de estas magnificaciones, se les realizó el análisis elemental a cada una, generando un registro de elementos por partículas asociadas a cada uno de los filtros evaluados, la codificación utilizada por filtro se describe en la Tabla 1.

Los resultados generados por SEM-EDS fueron procesados estadísticamente cuantificando la detección

química de cada partícula analizada por filtro, calculando el porcentaje de la presencia de cada elemento químico por total de partículas analizadas en el filtro, así como los valores máximo y mediana del %Wt (% Weight), emitido por el EDS para cada partícula.

**Tabla 1.** Codificación utilizada por filtro analizado.

Cod	Descripción	Periodo
GE1	Estación G, Filtro 1 de Enero	Sequía
GE2	Estación G, Filtro 2 de Enero	
GF1	Estación G, Filtro 1 de Febrero	
GF2	Estación G, Filtro 2 de Febrero	
GM1	Estación G, Filtro 1 de Marzo	
GM2	Estación G, Filtro 2 de Marzo	
GN1	Estación G, Filtro 1 de Noviembre	Lluvia
GN2	Estación G, Filtro 2 de Noviembre	
GD1	Estación G, Filtro 1 de Diciembre	
GD2	Estación G, Filtro 2 de Diciembre	

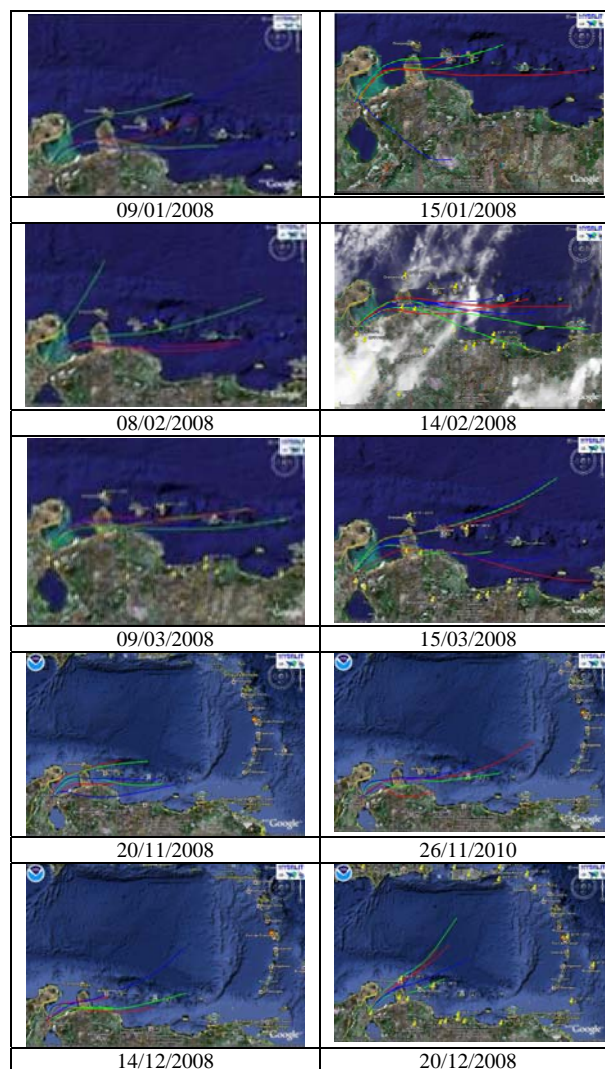
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**Retrotrayectorias**

Las retrotrayectorias calculadas para la estación G ubicada en Santa Cruz de Mara-Venezuela, indican que para las fechas de toma de muestra las masas de aire contribuyeron con partículas procedentes de las costas de Falcón, específicamente de la zona sur de la Península de Paraguaná, la Vela y los Médanos de Coro. Así mismo, se presenta una influencia desde el centro del estado Falcón, de la isla de Aruba, del Atlántico Norte y las costas de la Guajira Colombo-Venezolana. Por otra parte, se encontró que la dispersión de concentraciones de partículas se encontraba en rangos de 10-13 a 10-19 g/m<sup>3</sup> de aire, mostrando las mayores concentraciones provenientes del atlántico norte siguiendo la dirección característica del viento en esta zona. El análisis de dispersión de masas de aire en todas las fechas evaluadas señaló que no se evidenciaron eventos climatológicos y

meteorológicos que hubiesen podido afectar las trayectorias y concentraciones de las mismas.

En todas las fechas evaluadas no se detectaron variaciones significativas de la retrotrayectoria, tal como se observa en las imágenes de la Figura 2.



**Fig. 2.** Retrotrayectorias en Estación G.

**SEM-EDS**

En primer lugar, se analizó un filtro nuevo, no expuesto, denominado filtro patrón, determinando los elementos químicos y el valor porcentual semicuantitativo de los mismos, tal como se observa en la Figura 3. La composición mayoritaria es de Si, y en valores minoritarios se encuentran el Ba, Zn, Na, K y Al, reportándose trazas de Cl.

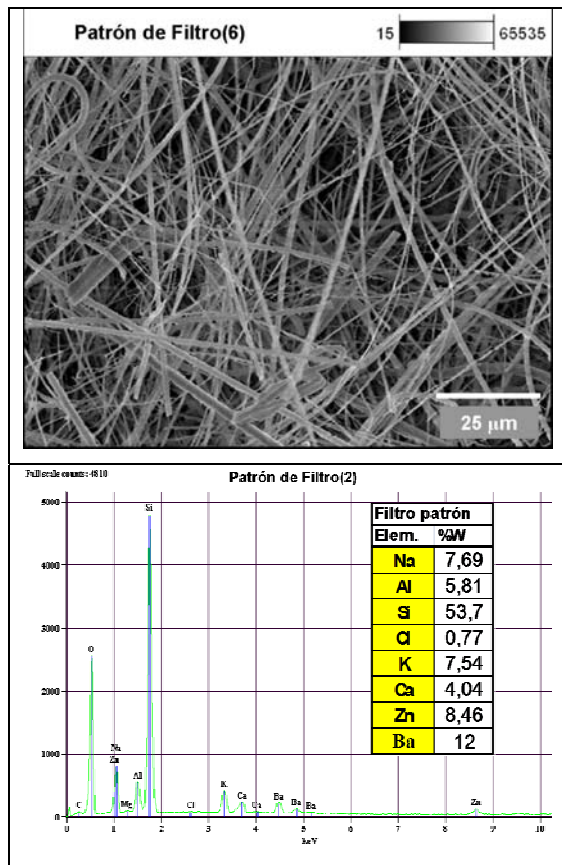


Fig. 3. SEM-EDS del filtro Patrón.

Posteriormente, se analizaron cada una de las fracciones (50) de los filtros en estudio (10), totalizando 3.151 partículas, tal como se describe en la Tabla 2, resaltando que el último filtro en lluvia presentó el menor número de partículas detectadas, infiriendo que es una consecuencia de las condiciones climatológicas.

Tabla 2. Total de partículas analizadas

Mes	Cod	Nº Partículas
Enero	GE1	310
	GE2	313
Febrero	GF1	360
	GF2	325
Marzo	GM1	368
	GM2	380
Noviembre	GN1	303
	GN2	341
Diciembre	GD1	362
	GD2	89
<b>Total</b>		<b>3151</b>

En la Figura 4, se muestra una micrografía con las partículas debidamente marcadas como parte del análisis elemental realizado en las mismas, esta metodología permitió discriminar cada partícula entre sí en las diferentes magnificaciones previamente definidas. Los resultados obtenidos por filtro se clasificaron en elementos presentes en el filtro patrón y los que no se encuentran en éste, analizándose por separado los datos obtenidos, respectivamente. En la Tabla 3 se muestra el porcentaje de presencia (número de veces detectado en el total de las partículas analizadas), de los elementos presentes en el filtro.

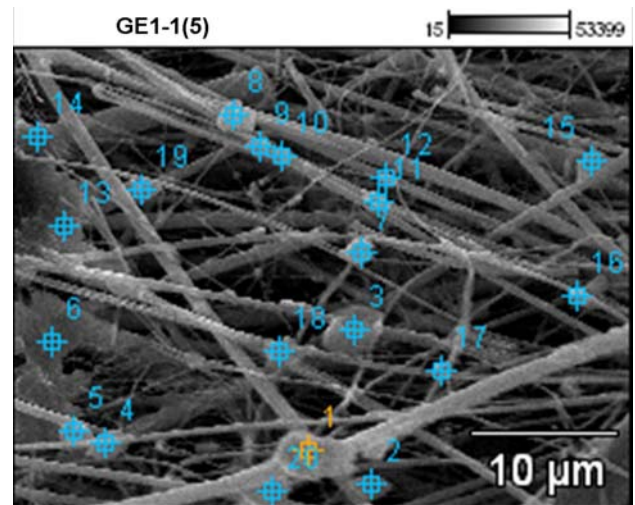


Fig. 4. Micrografía de una fracción del filtro GE1. Partículas analizadas a 3000X.

Tabla 3. % Presencia de elementos por total de partículas analizadas.

Elem.	Filtros en sequia						Filtros en lluvia			
	GE1	GE2	GF1	GF2	GM1	GM2	GN1	GN2	GD1	GD2
Si	100	100	100	100	100	100	100	87	100	100
Ba	92	81	84	70	89	92	63	50	37	52
Zn	87	73	78	69	89	89	12	13	3	8
Na	99	99	97	99	98	99	97	87	93	52
K	100	99	100	98	99	100	97	81	93	90
Al	98	98	99	99	100	100	99	87	99	98
Ca	97	95	96	93	98	99	82	67	91	73
Cl	91	72	94	83	82	88	51	48	69	12

De la Tabla 3 puede afirmarse que los análisis enfocados a las partículas marcadas por filtro no necesariamente están reportando a la composición química del filtro, dado que la presencia elemental variaba entre análisis, a

excepción del Si, el cual se contabilizó en todos los filtros en un 100 % de las partículas, menos en el de GN2. Igualmente puede diferenciarse que la presencia del Zn y Cl, disminuyeron significativamente en el periodo de lluvia.

La mediana obtenida del análisis estadístico realizado al registro generado por el EDS (%Wt), se reporta en la Tabla 4, tanto por filtro y elemento, para compararla con el análisis elemental procedente del filtro patrón (Figura 3), y evidenciar que se está cuantificando el aporte de las partículas analizadas entramadas en el filtro.

**Tabla 4.** %Wt filtro patrón y Mediana de %Wt por elemento del registro de las partículas analizadas.

Filtro patrón		Filtros en sequía						Filtros en lluvia				
Elem.	%Wt	Elem.	GE1	GE2	GF1	GF2	GM1	GM2	GN1	GN2	GD1	GD2
S	54	Si	51	47	48	40	51	50	51	49	51	58
Ba	12	Ba	7	6	6	6	7	7	6	7	4	8
Zn	8	Zn	3	4	4	3	2	3	7	8	5	8
Na	8	Na	8	9	8	11	9	10	12	49	13	16
K	8	K	6	5	5	4	6	5	5	5	4	5
Al	6	Al	7	7	7	7	8	7	8	7	10	7
Ca	4	Ca	3	3	3	10	4	3	3	3	6	3
Cl	1	Cl	4	3	6	13	4	5	3	4	5	2

Valores por encima del %Wt detectado en el filtro patrón

En la Tabla 4 encontramos que la mediana del registro de %Wt para el Na, Al y Cl se encuentra muy por encima de la concentración presente en el filtro patrón, inclusive el Cl es un valor traza en el filtro, lo que indica, que estos elementos pertenecen a las partículas capturadas. Así mismo, se observa que el Si es el de mayor porcentaje en todos los filtros, superando el valor del patrón en el filtro GD2. Analizando en ascendente estos registros, encontramos que existen diferencias entre filtros, que no se corresponde con el orden del filtro patrón.

Por otra parte, en la Tabla 5 se muestra el valor máximo del %Wt detectado para cada uno de los elementos dados en la Tabla 4, de la cual puede inferirse que la Si, Ca, Cl y Na, además de que se encuentran presentes en todos los filtros han alcanzado concentraciones significativas.

**Tabla 5.** %Wt máx. de elementos registrados en el análisis de partículas.

Elem.	Filtros en sequía						Filtros en lluvia			
	GE1	GE2	GF1	GF2	GM1	GM2	GN1	GN2	GD1	GD2
Si	88	98	95	93	94	89	97	99	100	99
Ca	65	50	64	46	43	64	58	90	63	89
Cl	56	74	65	67	72	65	32	44	61	19
Al	34	34	44	31	28	27	38	26	28	27
Na	25	71	37	39	28	37	60	99	41	26
Ba	15	17	23	14	20	36	22	19	22	17
K	12	18	15	24	15	15	22	13	14	21
Zn	11	12	19	10	16	14	23	39	10	13

Valores por encima del 50% (mayoritarios)

Todo lo anterior corrobora que los elementos reportados en cada partícula son característicos de las mismas, y en dado caso de que existiese una incidencia del filtro no es significativa con respecto al contenido de las partículas.

**Tabla 6.** % Presencia elemental por filtro

Elemento	Filtros en sequía						Filtros en lluvia			
	GE1	GE2	GF1	GF2	GM1	GM2	GN1	GN2	GD1	GD2
Mg	85	73	66	65	80	66	65	43	45	6
Fe	53	44	63	48	58	49	46	14	22	27
S	13	66	44	54	58	67	59	48	20	18
F	13	7	9	10	13	19	28	10	8	2
Ti	8	7	7	9	7	6	11	6	5	10
Mo	7	7	17	12	5	11			1	
As	6	3	5	6	12	17	5	4	11	4
Zr	5	3	5	5	1	2				
Ni	3	1	3	3	1	2		9		
Ge	2	2	3	2	1	2		1		
Cu	2	2	3	2	1	1	3	49	28	55
Nb	2		2	1	2	2				
Se	2	2	3	2	2	1		1		
Br	2	2	1						3	
Sr	1	2	3	2	2	3				
Rb	1	1	2	3	1	1				
Co	1	1	4	6	3	6				
V	1		1	1						
Sc	1		1	1	1					
P	1	2	1				32	20	20	19
Mn	1	1	3	1	2	1				
Pb		1	1		1	1				
Ga			1							
Cr			3	1	1					

Colores: % presencia elemental/total de partículas

	[50%<)
	[1%-50%)
	<1%
	No detectado

Además de los elementos químicos base del filtro, se registraron y analizaron todos los demás elementos detectados por partícula, tal como se observa en la Tabla

6, donde el Mg, Fe, S, F y Ti, As y Cu son elementos constantes en ambos periodos, variando en su porcentaje de presencia, por lo cual pudiera corresponderse a compuestos permanentes del medio ambiente evaluado. La disminución de presencia elemental es notoriamente significativa en el periodo de lluvia, esto puede deberse al lavado atmosférico.

Por otra parte, se puede señalar que predominan las partículas con Mg, Fe y S, la mayoría de los elementos se encuentran en presencia minoritaria ([1-50%) y muy bajas (<1%) y en el periodo de lluvia los elementos con presencia muy baja son escasos.

El Cu y P, presentaron un incremento significativo en el periodo de lluvia. Sin embargo el Pb cuya presencia se encontraba por debajo de 1% en el periodo de sequía, para el periodo de lluvia no se registro en ningún filtro, tal como se observa con el resto de elementos de muy baja presencia detectados en los filtros de sequía.

Para determinar que tan importante puede ser la presencia elemental detectada en términos de concentración porcentual (%Wt p/p), se evaluó la mediana del valor %Wt por elemento en el total de partículas analizadas, excluyendo aquí los elementos comunes al patrón, ya analizados en la Tabla 4 (Tabla 7); evidenciando que la mediana de los elementos reportados se encuentran en el rango de valores traza (<1%) y muy pocos en rango de de minoritarios (<50%).

En complemento a la mediana, en la Tabla 8 se visualizan los valores máximos del %Wt emitido por filtro en el total de partículas analizadas. Puede observarse que en unos filtros del periodo de lluvia, se detectaron %Wmáx en valores significativos, para el Mo, Zr y Br. Los demás elementos se observan principalmente en el intervalo de minoritarios, tal y cual la mediana del %Wt de los mismos. Tanto la Tabla 7 y 8

evidencian que la %Wt de éstos elementos en general presentan un intervalo de concentración minoritaria.

**Tabla 7.** Mediana del %Wt del registro total de partículas.

Elemento	Filtros en sequía						Filtros en lluvia			
	GE1	GE2	GF1	GF2	GM1	GM2	GN1	GN2	GD1	GD2
Mg	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2
Fe	1	3	2	5	1	1	5	6	3	5
S	3	4	2	11	5	4	4	5	1	4
F	2	1	1	2	1	1	2	3	3	4
Ti	1	1	1	2	1	1	1	2	1	2
Mo	3	3	3	3	5	3	0	0	3	0
As	4	2	2	2	4	3	4	4	3	3
Zr	6	9	8	8	5	6	0	0	0	0
Ni	0	0	0	0	10	0	0	7	0	0
Ge	1	0	1	1	0	1	0	7	0	0
Cu	0	2	0	0	0	0	5	10	4	7
Nb	2	2	2	2	3	2	0	3	0	0
Se	2	1	2	3	1	2	0	0	0	0
Br	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0
Sr	3	4	3	3	4	3	0	0	0	0
Rb	23	9	9	9	18	10	0	0	0	0
Co	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
Sc	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
P	4	17	11	7	0	0	3	3	1	1
Mn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pb	2	4	3	94	2	0	0	0	0	0
Ga	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

Colores: % Wt

[Color Verde]	[50%<]
[Color Naranja]	[1%-50%]
[Color Azul]	[<1%]
[Color Gris]	[No detectado]

De todo lo anteriormente analizado puede indicarse que los elementos no metálicos que se destacan en presencia son Cl y S, y de los metálicos se resaltan Si, Al, Ca, Mg, Fe, Ba, Zn, Na y K; estos elementos pudiesen estar asociados entre sí como sales o minerales, según indican las influencias de las masas atmosféricas se infieren aportes significativos de arenas y arcillas, cuyos elementos se detectaron con porcentaje de presencia mayoritaria. Investigadores de PM10 han reportado que las partículas asociadas a la Si, Al, Fe, Ca, K, Na y Mg, provienen de los suelos siendo aerotransportadas por los vientos [1-3]. En cambio los asociados con S, Pb, Cu, Zn proceden de las reacciones químicas atmosféricas, promovidas por fuentes antropogénicas. Las asociaciones

de Cl con elementos como el Na, K, Br suelen estar dados por aerosoles marinos. Otros elementos importantes por su persistencia son el As, Ti y F.

**Tabla 8.** Valor máximo del % Wt registrado en el total de partículas analizadas.

Elemento	Filtros en sequia						Filtros en lluvia			
	GE1	GE2	GF1	GF2	GM1	GM2	GN1	GN2	GD1	GD2
Mg	43	39	42	39	32	36	44	47	13	20
Fe	8	6	10	7	3	7	7	6	7	5
S	8	19	5						10	
F	6	20	12	7			14	19	13	3
Ti	6	13	9	7	3	4		2		
Mo	27	72	47	52	22	30	50	83	79	62
As	8	7	11	17	13	9	9	14	21	3
Zr	4	32	4	26	27	23	42	11	20	76
Ni	2	4	6		3	7				
Ge	6	4	4	3	6	5	6	6	7	5
Cu	9	13	11	13	6	16				
Nb	3	5	5	5	5	10				
Se	6	8	13	7	9	6			4	
Br	1	5	1	1	20		51	79	25	13
Sr	1	1	2	1	0	6		10		
Co	1		2							
Rb	28	9	18	14	22	10				
V			1	1				2		
Sc	3	2	4	6	12	16		3		
P			1	6					1	
Mn			1	1						
Pb	3		1		1					
Ga	1		1	1				25		
Cr	1		2	1	1	1				

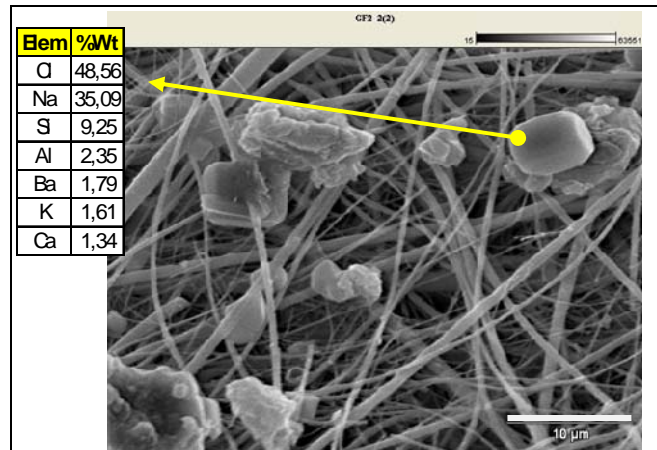
Colores: % Wt máx

Green	[50%<)
Orange	[1%-50%)
Blue	<1%
Grey	No detectado

Así mismo, las posibles relaciones elementales, en base al % Wt de cada partícula, nos permiten establecer las bases principales de los diferentes compuestos en: Si, Si-Al, S-Ca, Cl-Na, Fe, S, Cl. Por lo tanto, se afirma la presencia de compuestos propios de suelo y medio marino; sin embargo el SEM-EDS solo permite establecer la química elemental, e inferencia de posibles compuestos, para ser debidamente identificados debe de aplicarse otras técnicas como por ejemplo la DRX.

Por último, como parte del estudio se caracterizó morfológicamente las partículas observadas entre las fibras del filtro, diferenciando partículas planas alargadas, planas circulares, aglomeraciones irregulares,

aglomeraciones de apariencia cristalina, ovaladas y fases cristalinas rectangulares, un ejemplo de ello se presenta en la Figura 5, donde en la micrografía se señala una de las partículas analizadas por EDS, observándose una morfología cristalina asociada a ClNa.



**Fig. 5.** Micrografía del GF2. 3000X.

**CONCLUSIONES**

Entre los principales elementos mayoritarios presentes en las muestras evaluadas se encontró Si y Al, asociados a los elementos Fe, Ca, Ti, partículas poliminerálicas, posiblemente correspondan a arenas y arcillas, promovidas por las trayectorias de las masas de aire y arrastre de ellas. Así mismo se encuentran mayoritariamente partículas de S asociado a Ca, Na, Fe, partículas de fases cristalinas de Cl asociadas a Na, Mg, K, constituyentes de las sales típicas de aerosoles marinos, lo que se encuentra en correspondencia con la dinámica de las masas de aire descriptas. Igualmente se encontró As, Cu y F, en todos los filtros evaluados.

En el periodo de sequía existe una mayor y significativa diversidad de elementos que en el de lluvia, destacándose una elevada presencia en valores minoritarios y trazas.

El porcentaje de presencia y concentración de los elementos varió en el tiempo, manteniéndose la mayoría por debajo del 50% (minoritarios).



Las micrografías de los filtros corroboran una diversidad morfoquímica resaltando los aglomerados irregulares y fases de apariencia cristalina.

## AGRADECIMIENTO

A Carbones de Guasare, S.A. por el financiamiento del proyecto LOCTI 2008 “Caracterización de las partículas totales suspendidas en Santa Cruz de Mara”.

## REFERENCIAS

[1] Xie R.X., Seip H.M., Liu L., Zhang A.S. (2009) “Characterization of individual airborne particles in Taiyuan city, China” *Air Qual. Atmos. Health.* 2: 123-131.

[2] Mirjana T., Branislava D. S., Slavica R., Zoran M., Velibor N. (2006) “Physico-chemical characterization of PM10 and PM2,5 in the Belgrade Urban Area” *Acta Chim. Slov.* 53: 401-403.

[3] Brunekreef B., Forsberg B. (2005), “Epidemiology of coarse airborne particle” *European Respiratory Journal* 26: 309-318.

[4] Bishop, P. L. (2000) *Pollution Prevention: Fundamentals and practice.* Singapore, McGraw Hill International Ed.

[5] Wark K., Warner C.F., Davis, W.T. (1998) *Air Pollution: Its origins and control.* 3rd Edition. USA, Addison Wesley Longman.

[6] Aragón-Piña A., Campos-Ramos A., Leyva-Ramos R., Hernández Orta M., Miranda Ortiz N., Luszczewski-kudra, A. (2006) “Influencia de emisiones industriales en el polvo atmosférico de la ciudad de San Luís Potosí, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 22:5-19.

[7] Mendoza, A., Allen, D., García, M., Vela, P., Lozano, F. (2005). “Trace Gases and Particulate Matter Emissions from Wildfires and Agricultural Burning in Northeastern Mexico during the 2000” *Fire Season. J. Air & Waste Manage. Assoc.* 55: 1797-1808.

[8] Sánchez de la Campa A., De la Rosa J., Querol X., Alastuey A. (2005) “Impacto y mineralogía del material particulado atmosférico de origen norteafricano en Andalucía Occidental” *Geogaceta* 37:151-154.

[9] Bernabé J., Carretero, M. Isabel, (2003) “Caracterización mediante microscopía electrónica de barrido de partículas atmosféricas del área industrial de Huelva (SW de España)” *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía, Ene-Dic*, 26.

[10] Murrini L., Debray M. Gestar R., Kreiner A., Burlón A., Davidson J., Davidson M., Leyva G., Minsky D., Ozafrán M., Somacal H., Ulke A., Vázquez (2005) “Caracterización de aerosoles atmosféricos mediante el uso de diversas técnicas analíticas: PIXE, Cromatografía iónica, difracción de R-X, MEB y EDAX”. *ANALES AFA* 17:1850-1158.

[11] Campos A., Alcaraz, Herrera E., Sosa m., Jiménez J., Delgado M., Ramírez E., Puga S. (2007) “Análisis temporal de las concentraciones, distribución de tamaño y morfologías de partículas suspendidas menores a 10 micras en la ciudad de Chihuahua, México” *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 3: 44-51.

[12] Ramos J., Fernández R., Urbina de Navarro C., Barrios C., De Abrisqueta A., Conde M., Díaz F., Guajardo N. (2007) “Morfología y composición química de partículas atmosféricas en una zona urbana de Venezuela” *Acta Microscopica* 16(1-2) Supp. B: 284-285.

[13] Conner T., Williams R. (2004) “Atmospheric Environment, Identification of possible sources of particulate matter in the personal cloud using SEM/EDS”. *Atmospheric Environment* 38:5305-5311.

[14] Báez, A.P., Belmont, R.D., García, R.M., Torres M.C.B., Padilla, H.G. (2006) “Rainwater Chemical Composition at Two Sites in Central Mexico” *Atmos. Res.* 80: 67-85.

- [15] Aguado, E. Burt, J.E., (2001) "Understanding Weather and Climate", 2nd Edition. USA, Prentice Hall.
- [16] Draxler, R. R. (2007) "Demonstration of a global modeling methodology to determine the relative importance of local and long-distance sources" *Atmos. Environ.* 41: 776-789.
- [17] Cerón-Bretón, J.B., Padilla, H., Belmonte, R., Torres, M.C., Moya, M., Báez, A.P. (2006) "Measurement of C1-C4 carbonyls at forested regions in Mexico" *Atmósfera* 103-125.