



## ANALYSIS OF ATMOSPHERIC DEPOSITION IN THE SUGAMUXI VALLEY

## ANALISIS DE LA DEPOSICIÓN ATMOSFÉRICA EN EL VALLE DE SUGAMUXI

*Palacios, V. A.\**

*\*Ing. Víctor Alejandro Palacios Díaz. Maestrante, Programa de Maestría en Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tel: (57) 8 7430953 (Ext.:2527-2563), e-mail: ing.alejandro.palacios@gmail.com*

**Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia**

Avenida Central del Norte 39-115. Tunja, Boyacá, Colombia.

PBX: (57+8) 7405626

**Abstract** This paper analyzed the main contaminants present in the air Sugamuxi Valley. The evaluation analyzed the spatial variability of the chemical composition of the global atmospheric deposition, and this includes the wet fraction composed of rainwater, and dry fraction. Sampling was conducted at 10 stations distributed in the urban area of the city of Sogamoso, of which for the present work selected five and 78 samples were analyzed by atomic absorption, investigated the geographical distribution factors identified pollutants against atmospheric dynamics and

### Resumen

Se analizaron los principales contaminantes que se presentan en el aire de la zona del valle del Sugamuxi. En la evaluación se analizó la variabilidad espacial de la composición química de la deposición atmosférica global; esta incluye la fracción húmeda compuesta por el agua de lluvia, y la fracción seca. El muestreo se realizó en 10 estaciones distribuidas en la zona urbana de la ciudad de Sogamoso, de las cuales para el presente trabajo se seleccionaron cinco y se analizaron 78 muestras por absorción atómica; se investigaron los factores de distribución geográfica de los contaminantes identificados frente a la dinámica atmosférica y las concentraciones de inmisión para  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{CO}_3^-$ .

**Palabras Claves:** Dispersión de contaminantes, química atmosférica, contaminación atmosférica, precipitación, Tasas de inmisión.

immission concentrations for  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{CO}_3^-$ .

**Keywords:** Dispersion of pollutants, atmospheric chemistry, air pollution





## 1. INTRODUCCIÓN

Aunque la composición química de la deposición atmosférica ha sido estudiada en muchos países desde hace más de 30 años, estas investigaciones en el área de estudio no están muy documentadas, a pesar que las emisiones antropogénicas originadas entre otras por la minería del carbón, minerales de construcción, caleras, industria metalúrgica y cementera, se han incrementado, y que a nivel mundial, se ha mostrado la relación directa que tienen los contaminantes atmosféricos (respirables  $\phi \leq 2.5 \mu\text{m}$ ) en la salud de las personas y los ecosistemas (Lloyd, 2010; Querol, 2008; Fornaro, 2006; Jaramillo, 2001).

En algunas naciones Europeas y asiáticas, entre las que se destacan España, Japón, China y Taiwán, y otras Americanas como Brasil, Estados Unidos y Canadá, han investigado las tasas de inmisión de contaminantes, las fuentes, la dinámica meteorológica de dispersión y neutralización, además de los efectos tanto a escala local como global (Dueñas, 2012; Vos, 2012; Myles, 2012; Chen, 2012; Matsuda, 2012; Shen, 2012; Lloyd, 2010).

Las emisiones a la atmósfera ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ), que influyen en el comportamiento climático (Querol, 2008), amplían por sinergia los efectos de la contaminación del aire ya sea indirectamente por el impacto en las

condiciones meteorológicas o mediante los efectos directos causados sobre la salud de los seres vivos (Fowler, 2009), el agua y los suelos. Sin embargo, durante muchos años los esfuerzos en la mayor parte del mundo se han dirigido a tratar estos dos problemas separadamente; de hecho, muy a menudo se considera que los beneficios de la protección del clima sobre la salud se obtendrían a largo plazo. Por el contrario, lo que se ha puesto de manifiesto en los últimos tiempos es que las acciones para reducir las emisiones de dichos gases a la atmosfera redundarían en efectos beneficiosos a corto plazo (Querol, 2008).

Existen áreas donde los focos de emisión lindan o encierran centros urbanos, con el consecuente impacto directo de las emisiones atmosféricas sobre la población y en mayor grado durante la época de alta estabilidad atmosférica. Debido a ello, en las últimas décadas se han hecho esfuerzos pero no suficientes para reducir las emisiones de procesos industriales, vehículos, generación eléctrica, emisiones domésticas y agrícolas. Sin embargo, la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos que evoluciona de manera paralela al desarrollo industrial y social, exige cada vez más tecnología para minimizar los efectos adversos de los contaminantes en la salud humana, en los ecosistemas y en naturaleza en general (Fowler, 2009; Congreso Nacional Del Medio Ambiente, 2006; Ballester, 2005).





El Valle del Sugamuxi es considerado como una de las zonas de Colombia de mayor emisión de material particulado y conforma una de las siete regiones en Colombia (Bogotá, Medellín, Barrancabermeja, Cali, Barranquilla, Cartagena), que concentran la mayor cantidad de emisiones generadas según su tipo de corredor industrial, esto como consecuencia ha generado que la emisión de contaminantes al aire permita clasificar el valle de Sogamoso como tercer corredor con mayor generación de emisiones atmosféricas después de Bogotá y Medellín (Corpoboyacá, 2011).

La actividad industrial de esta área está integrada por industrias siderúrgicas cementeras y cerámicas y por instalaciones artesanales dedicadas a la producción de ladrillo y de cal (Jaramillo, 2001). Además existen pequeñas explotaciones mineras de carbón y materiales de construcción.

La atmósfera en esta zona es extremadamente estable durante un tercio del año y la condición típica es de ligera inestabilidad mostrando condiciones bastante desfavorables para la dispersión de los contaminantes y eventos de fuerte contaminación fotoquímica; en el contexto anterior y teniendo en cuenta la escases de estudios a nivel local, se investiga la incidencia de la deposición atmosférica en el Valle del Sugamuxi, comparándolo con algunos estudios similares realizados en

la unión europea y otras ciudades como Canadá y Brasil.

## 2. MARCO TEÓRICO

A escala local se han publicado diferentes estudios donde se presentan altos índices de enfermedades respiratorias atribuidas posiblemente a las condiciones atmosféricas reinantes y a las emisiones antropogénicas (Corpoboyaca, 2011; Chaves 2008; Jaramillo, 2001). A pesar de esta problemática, en el área de estudio no se disponen actualmente de datos históricos relativos a las tasas de deposición, tales como los que se vienen realizando en otros países donde las redes de monitoreo poseen grandes series temporales que permiten con alto grado de confianza determinar sus variaciones (temporales, espaciales, tendencias) y efectos en el suelo, agua superficial y subterránea, masas forestales y la salud humana, entre otros (Kryza, 2012; Abdus, 2011; Calvo, 2010; Aleksic, 2009; Aránguez, 2009; Alcalá, 2004). El estudio de fuentes de emisión mediante análisis isotópicos puede ser una valiosa herramienta que permita evaluar la responsabilidad en la contribución de emisiones primarias (Maa, 2012; Chaves, 2000), pero especialmente de la emisión secundaria que es la que presenta la mayor incidencia tanto en la calidad del aire como en la salud humana.





Es reconocido que la atmósfera es un camino muy importante para el transporte de material particulado (Congreso Nacional del Medio Ambiente, 2010; Querol, 2008). El material atmosférico está constituido de una gran variedad de componentes que incluye gases, nutrientes, sulfatos, nitratos, residuos biológicos y material crustal entre otros.

El material transportado a través de la atmósfera puede afectar gran número de procesos biogeoquímicos globales durante el tiempo de residencia en el aire y la subsiguiente deposición sobre la superficie marina o terrestre. El aire como medio de transporte de dichos materiales puede influir en las condiciones climáticas cambiando directamente por ejemplo la radiación normal de la atmósfera, o indirectamente perturbando los patrones de circulación atmosférica y facilitando la presencia de las partículas de aerosoles que actúan como núcleos de condensación en los procesos de formación de nubes y posteriormente precipitaciones.

Una vez emitidas las partículas su vida media (tiempo de residencia en la atmósfera) y la distancia de transporte a través de la atmósfera, dependen principalmente de su granulometría. Las partículas sedimentables, aquellas de diámetro superior a 20  $\mu\text{m}$ , se caracterizan por una vida media (minutos) y un transporte muy cortos (varios

metros). Por el contrario las partículas muy finas (inferiores a 2.5  $\mu\text{m}$ ) se caracterizan por una vida media de hasta varios meses y un transporte que puede alcanzar los centenares de kilómetros antes de ser depositadas ya sea en atmósfera libre (deposición seca) o húmeda (eventos de precipitación).

La introducción de normativas cada vez más estrictas sobre el control de emisiones llevó a que en las tres últimas décadas, la química de la precipitación y la deposición global, hayan sido extensamente documentadas en algunas partes del mundo (Sanderson, 2006).

En Europa recientes estudios han mostrado deposición de Berilio en los ecosistemas de las montañas de la Republica Checa en los inviernos de 2009 a 2011 (Bohdalkova, 2012), deposición de dioxinas en el Noroeste de Italia durante un periodo de doce meses comprendido entre los años 2005 y 2006 (Castro, 2012), composición química, radioactiva y neutralización de la deposición atmosférica en los años 2004 a 2011 en España y el Mediterráneo (Dueñas, 2012; Calvo, 2010; Inza, 2010; Jiménez, 2010; Chaves, 2008, Pey, 2007; Querol, 2006; Alcalá, 2004), trayectoria y análisis estadístico de los modelos de transporte atmosférico y tendencias de la química de la precipitación (Izquierdo, 2012; Inza, 2010, Querol, 2006, Beswick, 2003; Puxbaum, 2002), cuantificación del papel de los factores circulación atmosférica y





lluvia en la deposición de contaminantes atmosféricos, especialmente compuestos de azufre y nitrógeno, utilizando estudios de casos en el Reino Unido y Polonia (Kryza, 2012), análisis de los efectos y las consecuencias ecológicas de la deposición de N (Ochoa, 2011; González, 2009), y concentración de metales pesados y sustancias acidificantes en la deposición atmosférica húmeda y seca (Vos, 2012; Morselli, 2003; Garnaud, 1999; Fernández, 1997).

En Norte América se han analizado las concentraciones de mercurio en la deposición seca (Risch, 2012), composición química y factores de neutralización de la deposición atmosférica (Myles, 2012; Zbieranowski, 2012; Lafrenière, 2011, Aleksic; Song, 2011; Lacke, 2009, Song, 2009), análisis de los efectos y las consecuencias de la deposición de Nitrógeno (Sullivan, 2012; Walker, 2012; Zbieranowski, 2012) y precipitación atmosférica de sodio y cloro (Lloyd, 2010).

En Asia, principalmente en Japón y China se ha estudiado la composición química y la neutralización de la deposición atmosférica (Chen, 2012, Matsuda, 2012; Shen, 2012; Cheng, 2011; Dong, 2011; Sakata, 2011; Shimadera, 2011; Zhang, 2011; Das, 2010; Tsai, 2010; Liu, 2010; Innomata, 2009; Yi, 2007; Masatoshi, 2005), los factores que influyen la deposición atmosférica (Kim, 2012; Wang,

2010), análisis isotópicos en la precipitación húmeda y seca (Maa, 2012), análisis de los efectos y las consecuencias de la deposición de Nitrógeno (Zhang, 2012; Liu, 2011; He, 2011) y la deposición de mercurio (Zhang, 2012).

En África los estudios se han focalizado hacia la composición química de la deposición atmosférica (Laouali, 2012; Abdus, 2011) y en menor grado en Sur América se han realizado análisis espacio-temporales de la deposición húmeda (Morales, 2012 y Fornaro, 2006).

En el contexto anterior, se resalta el aumento de estudios e investigaciones orientados al análisis de la deposición atmosférica, promoviendo la instalación de redes de vigilancia de calidad del aire, esto debido entre otros factores a:

- a) Incremento en los efectos adversos sobre la salud.
- b) Variación de las características del suelo y el agua.
- c) Influencia sobre el clima.
- d) Influencia en los niveles de deposición de especies ácidas y nutrientes.
- e) Alteración de los materiales de construcción (fachadas y monumentos).
- f) La reducción de la visibilidad.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

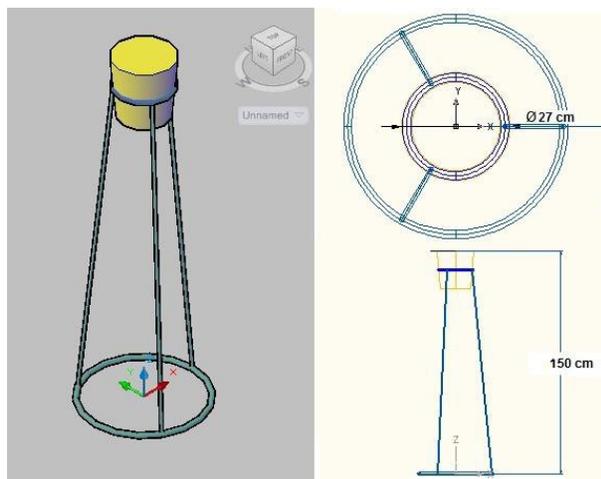




### 3.1. Descripción de los Muestreadores

Se utilizó el prototipo de colector manual para deposición atmosférica global en polietileno soportado en una base de acero como se muestra en la figura 1. Las dimensiones aproximadas del recipiente colector son 270 mm de diámetro superior, 220 mm de diámetro inferior y 280 mm de altura.

Los colectores se ubicaron a una altura de 1,5 metros del suelo para evitar la resuspensión y alejados de edificaciones grandes o barreras que impidieran la libre circulación del viento. (Figura 1).



**Figura 1.** Colector manual de polvo sedimentable.

### 3.2. Toma de muestras y

#### determinaciones analíticas en Campo.

El proceso de toma de muestras comenzó con el establecimiento del programa de muestreo, donde se definieron los puntos, la frecuencia y duración de recogida, los procedimientos y equipamientos a utilizar, además de otros aspectos importantes para asegurar la calidad de las muestras.

La toma de muestras se realizó de forma permanente y con período bisemanal durante dos meses, noviembre 24 hasta diciembre 22 de 2011; aprovechando el periodo de máxima precipitación por causa de la ola invernal presentada en Colombia.

El muestreo de eventos de deposición atmosférica global (húmeda y seca) se realizó a través de colectores manuales de idénticas características,; siguiendo recomendaciones del estándar UNE-EN 15841:2010 Método normalizado para la determinación de arsénico, cadmio, plomo y níquel en la deposición atmosférica; dado que para los iones objeto del presente estudio no se cuenta con un estándar definido. Por lo anterior, la metodología procedimental aplicada se describe a continuación:

- a) La instalación de los colectores para la deposición húmeda y seca se realizó en la zona urbana de la Ciudad de Sogamoso (Colombia).





- b) Se ubicaron 10 puntos bajo la influencia de la dirección predominante de los vientos, de los cuales se seleccionaron 5 en la primera fase.
- c) El colector 1 (*Marías*), se colocó como el punto más cercano al parque industrial (1km). En la tabla 1 se describe la ubicación geográfica de los cinco puntos y el número de muestras recogidas.

cada tercer día.

- f) La toma de las muestras se realizó de acuerdo a los siguientes parámetros: Para muestra húmeda se midió el volumen total y se tomaron 200 ml, para deposición seca se adicionaron 200 ml de agua ultra pura tipo MilliQ para disolver la muestra.
- g) La analítica básica en campo se realizó en cuanto a Sólidos Disueltos Totales (TDS), Conductividad Eléctrica (CE), pH y Temperatura (T); usando un equipo multiparamétrico HANNA 991300, Ver Tabla 2.

**Tabla 1.** Localización puntos de Muestreo, en la ciudad de Sogamoso (Boyacá, Colombia).

	Punto	Coordenadas Planas Origen: Bogotá		Altura (m)	N. Muestras
		Este	Norte		
1	Marías	1.128.57 6	1.127.1 27	2495	16
2	Pradera	1.128.79 2	1.125.9 50	2506	15
3	Centro	1.127.55 4	1.124.1 86	2496	16
4	Cortes	1.127.85 3	1.122.9 13	2522	16
5	Isla	1.125.40 9	1.125.0 41	2490	15

- d) El recipiente donde se captó la muestra, quedo siempre abierto (día y noche con lluvia y sin ella).
- e) La toma de las muestras se realizó

**Tabla 2.** Especificaciones HANNA 991300.

HI 991300 Portable PH/EC/TDS/Temperature Meter	
<b>Range</b>	<i>pH</i> 0.00 to 14.00
	<i>EC</i> 0 to 3999 $\mu$ S/cm
	<i>TDS</i> 0 to 2000 ppm
	<i>Temperature</i> 0.0 to 60°C or 32.0 to 140°F
<b>Resolution</b>	<i>pH</i> 0.01 pH
	<i>EC</i> 1 $\mu$ S/cm
	<i>TDS</i> 1 ppm





	<i>Temperature</i>	0.1°C or 0.1°F
<b>Accuracy</b> (@20°C/68°F)	<i>pH</i>	±0.01pH
	<i>EC/TDS</i>	±2% F.S.
	<i>Temperature</i>	±0.5°C or ±1°F
<b>Typical EMC Deviation</b>	<i>pH</i>	±0.03pH
	<i>EC/TDS</i>	±2% F.S.
	<i>Temperature</i>	±0.5°C or ±1°F
<b>Temperature Compensation</b>	<i>pH</i>	Automatic
	<i>EC/TDS</i>	$\beta=0.0$ to 2.4%/°C

#### 4. ANALISIS QUÍMICOS

El análisis químico-físico de las muestras para los cinco puntos de muestreo se realizó en el laboratorio de aguas de la Uptc, para pH, conductividad y por absorción atómica  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{CO}_3^{=}$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{HCO}_3^-$ . El  $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{CO}_3^{=}$  y  $\text{NO}_3^-$  no se observaron en estos rangos.

#### 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), durante el periodo de muestreo (del 27 de Octubre al 19 de diciembre de 2011 equivalente a 54 días calendario) se registraron varios eventos de precipitación con

un promedio/día de 2,75 mm/m<sup>2</sup> y una media mes de 15,8°C.

El ion  $\text{Ca}^{2+}$  presento una concentración media como cálculo de los cinco puntos de muestreo de  $\mu=13,75$  meq/l y  $\sigma=5,8$  meq/l; como referencia a la media general, las estaciones Marías, Pradera e Isla presentaron medias superiores en un 10,5% (15,2 meq/l), 5,9% (14,56 meq/l) y 36,5% (18,76 meq/l) respectivamente; por el contrario, en las estaciones Centro y Cortes se observaron medias inferiores a la general en 23,8% (10,47 meq/l) y 28,8% (9,78 meq/l) respectivamente.

Para el caso  $\text{Mg}^{2+}$  la concentración media en el área de estudio fue  $\mu=2,49$  meq/l y  $\sigma=1,88$  meq/l; las estaciones Cortes e Isla mostraron medias superiores en un 51% y 2,57% a la general, mientras que las estaciones Marías, Pradera y Centro mostraron medias inferiores a la general en un 2,65%, 21,79% y 30,37% respectivamente.

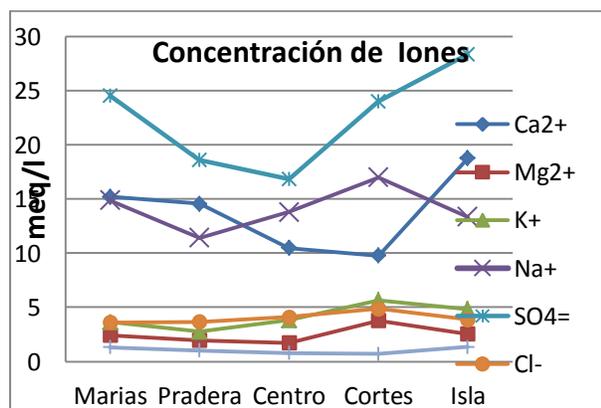
El  $\text{Ca}^{2+}$  presenta alta concentración de debido probablemente a la influencia de las minas de caliza y hornos de cal ubicados en los municipios de Nobsa y Tibasosa. Las rocas calizas explotadas contienen por lo menos 50% de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y cantidades variables de carbonatos de magnesio ( $\text{MgCO}_3$ ) entre las cuales la caliza magnesiiana con





máximo 5% de  $Mg^{2+}$ . Por otro lado, la industria cementera local, además de usar la caliza local explotada emplea caliza dolomítica para sus procesos, la cual contiene entre 30% y 45% de carbonato de magnesio ( $MgCO_3$ ) explicando su concentración aunque en menor grado que el  $Ca^{2+}$ . Ver Figura 2

El ion  $K^+$  muestra media general  $\mu=4,13\text{meq/l}$  y  $\sigma=2,1\text{ meq/l}$ . La muestra con máxima concentración se halló en la estación Cortes 9,21 meq/l, además de presentar la media más alta 5,64 meq/l (36,8% superior a la media general); sin embargo, la estación Isla también evidencia concentración mayor a la media  $\mu=4,83$  (17% superior). La mínima concentración se encontró en la estación centro 1,65 meq/l, aunque con  $\mu=3,79\text{ meq/l}$  presenta mayor concentración que Marías 3,62 meq/l y 2,74 meq/l en Pradera.



**Figura 2.** Concentraciones medias obse

rvadas de iones para los cinco puntos de muestreo analizados.

Para el caso del ion  $Na^+$ , la mayor concentración en muestra se halló en el punto Cortes (29,90 meq/l), además de presentar la media más alta 16,99 meq/l, superior en 17% a la media general de la zona de estudio  $\mu=14,08\text{meq/l}$ . La estación Marías, también presenta concentración media más alta a la general en un 5,2%; Las demás estaciones presentan concentraciones inferiores a la media en 2,03%, 5,39% y 23,5% para Centro, Isla y Pradera respectivamente.

La evaluación del ión  $SO_4^{=}$  en el proceso de deposición atmosférica puede analizarse en la Figura 2, las altas concentraciones  $\mu=22,45\text{ meq/l}$  pueden deberse a los compuestos de azufre presentes en los procesos metalúrgicos que exigen cal y caliza como elemento fundente y eliminador de impurezas ácidas. El punto de muestreo que evidencia mayor concentración es Isla 28,33 meq/l, seguido de Marías 24,53 meq/l y cortes 23,98 meq/l. El centro de la ciudad de Sogamoso mostro menos concentraciones de  $SO_4^{=}$  16,81 meq/l y 18,60 meq/l en Pradera.

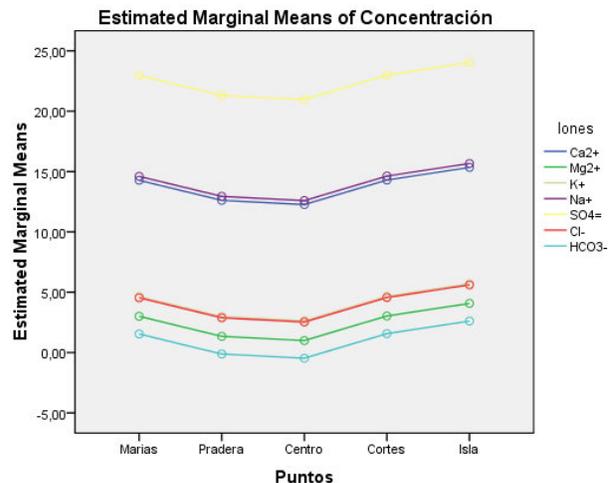




La concentración de  $\text{Cl}^-$  en la deposición atmosférica en todas las estaciones presenta baja variabilidad  $\sigma=1,16$  meq/l. La media general  $\mu=4,02$  meq/l es superada en los puntos centro 4,11 meq/l y Cortes 4,86 meq/l. El punto Isla, Pradera y Marías presentan concentraciones inferiores a la media general en 3,9%, 9,12% y 10,28% respectivamente.

El ion Bicarbonato  $\text{HCO}_3^-$  presenta media general  $\mu=1,026$  meq/l y  $\sigma=0,388$  meq/l; encontrándose las mayores concentraciones en la Isla 1,34 meq/l y Marías 1.37 meq/l. En relación a la media general, Pradera presenta el mismo valor medio y los puntos centro y cortes evidencian concentraciones inferiores en 25% y 33,76%.

A partir del análisis estadístico de las concentraciones encontradas en cada uno de los puntos de muestreo, con un nivel de confianza del 95%, las medias marginales estimadas para la concentración de cada uno de los iones analizados es para  $\text{Ca}^{2+}=13,759$  meq/l,  $\text{Mg}^{2+}=2,489$  meq/l  $\text{K}^+=4,127$  meq/l,  $\text{Na}^+=14,087$  meq/l,  $\text{SO}_4=22,453$ ,  $\text{Cl}^- =4,020$  meq/l y  $\text{HCO}_3^- =1,027$  meq/l con desviación estándar general de 1,356 meq/l. Ver Figura 3.



**Figura 3.** Concentraciones Medias estimadas de iones para los cinco puntos de muestreo analizados.

## 6. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados obtenidos del estudio de la deposición atmosférica global en el valle del Sugamuxi se pueden destacar las siguientes conclusiones:

- En las muestras recogidas en los colectores cerca del parque industrial presentan mayor concentración de los iones analizados, con tendencia decreciente hacia el centro; sin embargo, se evidencia incremento hacia la isla; esto, posiblemente por la afectación directa de tráfico pesado vehicular en vías sin pavimento, ocasionando resuspensión.
- La dispersión de contaminantes y su relación con las concentraciones halladas en cada una de las estaciones se





explica por la dirección de los vientos; para el rango de velocidades bajas, 1 a 3 m/s, predominan de la dirección NE donde se ubica el parque industrial de Sogamoso, velocidad que no contribuye a la adecuada dispersión. Por otro lado, para velocidades de 3 a 5 m/s predominan de ENE también del parque industrial hacia el centro y W al SE, es decir hacia el colector cortés, por lo cual genera mayor concentraciones en esta estación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDUS, Salam, ADEKOLA, F., OTUYO, M. Chemical composition of wet precipitation in ambient environment of Ilorin, north central Nigeria. En: Journal of Saudi Chemical Society. Octubre, 2011.
- ALCALÁ, F. y CUSTODIO, E. La deposición atmosférica de cloruro al terreno en España 2004. En: Boletín Geológico y Minero. 2004. vol. 115, no. Especial, p. 319-330.
- ALEKSIC, N., ROYA, K., SISTLA, G. y otros. Analysis of cloud and precipitation chemistry at Whiteface Mountain, NY. En: Atmospheric Environment. Junio, 2009, vol. 43, no. 17, p. 2709–2716.
- ARÁNGUEZ, Emiliano, ORDÓÑEZ, José, SERRANO, Javier y otros. Contaminantes atmosféricos y su vigilancia. En: Revista Española de Salud pública. Marzo-Abril 2009 . vol. 73, p. 123-132.
- AZIMI, S., LUDWIG, A., THÉVENOT, D. y otros. Trace metal determination in total atmospheric deposition in rural and urban areas. En: Science of the Total Environment. Junio, 2003. No. 308. P. 247-256.
- BALLESTER, Ferran. Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. En: Revista Española de Salud Pública. Abril, 2005. no. 79, p.159-175.
- BALLESTER, Ferran. El proyecto EMECAM estudio multicéntrico Español sobre la relación entre la contaminación atmosférica y la mortalidad. Antecedentes, participantes, objetivos y metodología. En: Revista Española de Salud Pública. Abril, 2005. no. 79, p. 229-242.
- BESWICK, K., CHOULARTON, T., INGLIS, D. y otros. Influences on long-term trends in ion concentration and deposition at Holme Moss. En: Atmospheric Environment. Mayo, 2003, vol. 37, no. 14, p. 1927–1940.
- BOHDALKOVA, L., NOVAK, M., VOLDRICHOVA, P. y otros. Atmospheric deposition of beryllium in Central Europe: Comparison of soluble and insoluble fractions in rime and snow across a pollution gradient. En: Science of the Total Environment. Noviembre, 2012, vol. 439, p. 26–34.





CHAVES, Aura, QUEROL Xavier, ALASTUEY, Andres y otros. Sources of natural and anthropogenic sulphur around the Teruel power station, NE Spain. Inferences from sulphur isotope geochemistry. En: Atmospheric Environment. Enero, 2000. Vol. 34, no. 2, p. 333-345.

INOMATA. Y., IGARASHI. Y., CHIBA. M. y otros. Dry and wet deposition of water-insoluble dust and water-soluble chemical species during spring 2007 in Tsukuba, Japan. En: Atmospheric Environment. Septiembre, 2009, vol. 43, no. 29, p. 4503–4512.

#### INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA

SHIMADERA, H., KONDO, A., SHRESTHA, K. y otros. Annual sulfur deposition through fog, wet and dry deposition in the Kinki Region of Japan. En: Atmospheric Environment, Noviembre, 2011, vol. 45, no.35 ,p.6299-6308.

SONG, F., GAO, Y. Chemical characteristics of precipitation at metropolitan Newark in the US East Coast. En: Atmospheric Environment. Octubre, 2009, vol. 43, no. 32, p. 4903–4913.

SONG , Y., LI, D., WANG. Y. y otros. Chemical Characteristics and Cause Analysis of Precipitation in the South of Liaodong Peninsula. En: Procedia Engineering. Mayo, 2011, vol. 18, no. 18, p.

220 – 225.

SULLIVAN, Benjamin., SELMANTS, Paul., HART, S. New evidence that high potential nitrification rates occur in soils during dry seasons: Are microbial communities metabolically active during dry seasons?. En: Soil Biology & Biochemistry. Octubre, 2012, vol. 53, p. 28-31.

65.

ZHANG, X ., JIANG, H., ZHANG, Q. Chemical characteristics of rainwater in northeast China, a case study of Dalian. En: Atmospheric Research, Octubre, 2012, vol. 116, p. 151–160.

ZHANG, Y., LEE, X., CAO, F. Chemical characteristics and sources of organic acids in precipitation at a semi-urban site in Southwest China. En: Atmospheric Environmen. Enero, 2011, vol. 45, no. 2, p. 413-419.

ZHANG, Y., SONG, L., LIU, X. y otros. Atmospheric organic nitrogen deposition in China. En: Atmospheric Environment. Enero, 2012, vol. 46, p. 195-204

