

# Estudio de cinc, cromo, níquel y plomo mediante factores de enriquecimiento como indicadores de contaminación en suelo y sedimentos viales en la ciudad de Maracaibo

*Analí Machado<sup>1\*</sup>, Débora Giraldoth<sup>1\*</sup>, Neyma García<sup>1</sup>, Gilberto Colina<sup>2</sup>,  
César García<sup>1</sup> y Víctor Granadillo<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Centro de investigaciones Cedegas. <sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (Disa), Facultad de Ingeniería. <sup>3</sup>Laboratorio de Química Ambiental, Departamento de Química, Facultad Experimental de Ciencias. Universidad del Zulia, Apartado Postal 526 Maracaibo 4001-A, Venezuela.

Recibido: 06-07-07 Aceptado: 07-11-08

## Resumen

Las actividades antropogénicas incrementan los niveles metálicos y la persistencia de estos en el ambiente. En este trabajo se aplicaron factores de enriquecimiento como indicadores de contaminación en suelo y sedimentos viales de la ciudad de Maracaibo mediante el estudio del contenido de cinc, cromo, níquel y plomo en dichas muestras. Para tal fin se diseñó un programa de muestreo en seis avenidas de alta densidad vehicular y en la zona control, ubicada en Sinamaica, municipio Páez. Las determinaciones de las concentraciones metálicas se realizaron por adecuación de métodos de digestión ácida y empleando técnicas de espectrometría de absorción atómica con horno de grafito (Al, Ni, Cr y Pb) y llama (Zn). Los resultados obtenidos fueron expresados en términos de factor de enriquecimiento, utilizando como elemento de referencia el aluminio. Las concentraciones de Pb, Zn, Ni y Cr resultaron significativamente elevadas en las diferentes avenidas de la ciudad en comparación con la muestra control. Se evidenció enriquecimiento de Zn, Pb y Ni tanto en sedimento vial como en suelo. Los valores de los factores de enriquecimiento estuvieron en el intervalo  $\geq 1$  pero  $< 10$ , indicando que el origen de las especies estudiadas en sedimento vial y suelo de la ciudad es tanto natural como antrópico.

**Palabras claves:** metales pesados, factor de enriquecimiento, sedimento vial.

## Study of zinc, chrome, nickel and lead through enrichment factors as vial sediment and soil contamination indicators in Maracaibo city

### Abstract

Anthropogenic activities increase the levels metallic and their persistence in environment. In this work, enrichment factors as indicators contamination in the study of zinc, chrome, nickel and lead on vial sediment and soil of Maracaibo city were applied by designing a sample program on six high vehicle density avenues at representative areas of the city, as well as control samples located at Sinamaica, Páez municipality. The determinations of metallic concentrations were done through method adaptation of acid digestion and by using atomic absorption

\* Autor para la correspondencia. Telefax: +58-261-7598795. E-mail: analimachado@yahoo.com.

spectrophotometry techniques with a graphite furnace (Al, Ni, Cr and Pb) and flame (Zn). The results obtained were expressed in terms of enrichment factors using aluminum as a reference element. It was found that concentrations of Pb, Zn, Ni and Cr were highly increased at the different avenues of the city compared to the control sample. Enrichment of Zn, Pb and Ni was evidenced on vial sediment and soil of the city. The enrichment values were in a range of  $\geq 1$  but  $< 10$ , which indicates that the origin of the species studied in vial sediment and soil of the city is either natural or anthropogenic.

**Key words:** heavy metals, enrichment factor, sediment street.

## Introducción

A nivel mundial, una de las actuales preocupaciones ambientales del hombre es la relacionada con la contaminación por transporte atmosférico de metales pesados a gran escala. Estos metales, debido a su capacidad de asociación a masas de aire y por efecto de la recirculación de los vientos, tienden a depositarse en áreas alejadas de sus fuentes de origen.

Los metales pesados y otros compuestos tóxicos son los contaminantes más comunes provenientes de las emisiones de plantas industriales, del tráfico vehicular y de la infraestructura de carreteras (1).

En el estado Zulia, la ciudad de Maracaibo no escapa a esta realidad, puesto que ha presentado un crecimiento urbano drástico asociado con múltiples actividades urbanas acompañadas de un elevado tráfico automotor y una mayor demanda de productos, lo que ha contribuido en gran medida con el incremento de metales pesados en el ambiente.

Considerando que estos metales han sido reconocidos como capaces de afectar negativamente la salud y el ambiente en general cuando sobrepasan un nivel de tolerancia dada, junto con el hecho de su vinculación con la presencia de determinadas fuentes móviles y fijas, el objetivo principal de esta investigación consiste en aplicar factores de enriquecimiento como indicadores de contaminación por metales típicamente emitidos por el parque automotor (Zn, Cr, Ni y Pb), en sedimento vial y en suelo de la ciu-

dad de Maracaibo. Este estudio abarca el diseño de un programa de muestreo en áreas representativas de la ciudad, atendiendo a variables demográficas y flujo vehicular, con el fin de dilucidar las posibles fuentes antrópicas que se relacionan con la presencia de estos metales en el ambiente de la ciudad de Maracaibo.

## Materiales y métodos

### Ubicación y descripción del área de muestreo

Se seleccionaron seis avenidas de alta circulación vehicular: Los Haticos (40.000 veh/día), Delicias (45.000 veh/día), Universidad (35.000 veh/día), Bella Vista (29.000 veh/día), Guajira (43.000 veh/día) y La Limpia (60.000 veh/día) (2).

### Recolección de las muestras

Las muestras de sedimento vial urbano y suelo fueron recolectadas en 27 puntos de muestreo a lo largo de las seis avenidas de alta circulación de la ciudad. El calendario de muestreo contempló la captación de tres muestras por cada punto (con frecuencia de 15 días) para un período de medición de mes y medio. La toma de las muestras para sedimento se realizó a lo largo del borde de las aceras (en ambos sentidos) en porciones de entre 500 y 1000 g. Las muestras de suelo fueron recolectadas a lo largo de las seis avenidas anteriormente señaladas. Estas muestras comprendieron tres submuestras colectadas a una profundidad de 30 cm y a 1 metro de distancia del tráfico vehicular. Posteriormente fueron mezcladas y se preparó

un *pool* por punto de muestreo para un total de 27 muestras. Ambos tipos de muestras fueron recolectadas con accesorios plásticos (cepillo y pala) y fueron dispuestas en una bolsa de propileno con cierre hermético y de fácil rotulación.

El muestreo se comenzó a principios del mes de marzo y finalizó a mediados del mes de abril del año 2005, lapso de tiempo en el que se reportaron altas temperaturas en la región zuliana, típicas del período de sequía.

### Zona de referencia

El sitio de muestreo seleccionado para el control o blanco fue la estación Sinamai-ca, ubicada a 11°40'52,2" de latitud norte y a 71°51'34,3" de latitud sur en el municipio Páez del estado Zulia. Dicha estación es considerada como blanco por el Instituto para el Control y la Conservación de la Cuenca del Lago de Maracaibo (Iclam) debido a la inexistencia del sector industrial y al poco asentamiento poblacional, lo cual implica poca densidad del parque automotor (3).

El procedimiento utilizado para la recolección de las muestras blanco, tanto para sedimento como para suelo, fue el mismo establecido previamente.

### Tratamiento de las muestras

Las muestras (suelo y sedimento) fueron tamizadas y secadas en una estufa a 60 °C por 24 h. Las muestras sólidas secas fueron digeridas por triplicado empleando el método de digestión ácida a presión atmosférica y calentamiento a temperaturas controladas entre 60 y 70 °C (4, 5).

### Método analítico

La determinación analítica para Al, Cr, Ni y Pb se realizó utilizando la técnica de espectrometría de absorción atómica con atomización electrotérmica (ETA-AAS), mientras que para la determinación analítica de Zn se empleó la técnica de espectrometría de absorción atómica con llama (FAAS). Se uti-

lizaron factores de dilución de 10, 20 y 1000-X para las alícuotas digeridas de sedimento vial urbano y suelo.

### Análisis estadístico

A cada muestra analizada se le calculó la media aritmética, la desviación estándar y la desviación estándar relativa o coeficiente de variación, intervalos experimentales (valor mínimo-valor máximo) y estadístico (4).

Para determinar las concentraciones de las muestras se empleó la ecuación de la línea recta de acuerdo a la Ley de Beer. Se determinó el límite de detección de acuerdo con Miller y Miller (6). Se empleó la prueba de rechazo de Chauvenet. También, para analizar el origen y distribución, así como la significancia, de los poluentes bajo estudio, se aplicó t-student. Un parámetro útil en el análisis de distribución de aerosoles con especial referencia a su procedencia o tipo de fuente es el coeficiente de correlación binaria. Este muestra un valor superior ( $r$ ), que es el valor de correlación, y otro valor ( $p$ ), que muestra la significancia de que la correlación sea verdadera. Debido a la existencia de diversos métodos para la aplicación de correlaciones estadísticas que permitan asociar dos variables continuas, se determinaron los coeficientes de correlación binaria haciendo uso del método propuesto por Pearson (7). Igualmente fue aplicado el factor de enriquecimiento.

### Factor de enriquecimiento

La concentración absoluta de un elemento proporciona en algunos casos una información muy limitada de su significado. Debido a ello se han definido diferentes factores de enriquecimiento (FE) para evaluar fuentes adicionales de un elemento con respecto a una fuente principal de referencia. Este factor permite evaluar la contribución de las fuentes adicionales, es decir, no naturales, de un elemento dado con respecto a una fuente de tipo natural. El cálculo consiste en la suposición de las relaciones similares encontradas entre elementos colectados

en el ambiente, específicamente del suelo y sedimentos viales, y un elemento considerado como material de referencia cuyo origen es una posible fuente natural. El elemento abundante en el material de referencia es considerado como indicador. En este trabajo se determinó el FE para Zn, Cr, Ni y Pb en muestras de suelo y sedimentos viales con respecto a la corteza terrestre o suelo existente en Sinamaica, considerando el aluminio (Al) como material de referencia debido a su alta concentración en la corteza. El FE fue definido por Moyer y col. (8) según la ecuación:

$$FE = ((X_i)/(Al)_{\text{sedimento}})/(X_i)/(Al)_{\text{suelo}^*} \quad [1]$$

donde *suelo\** es el elemento de control para comparar y *xi* es la concentración del elemento bajo estudio.

Un  $FE \leq 1$  indica que el elemento en estudio no está enriquecido por fuentes adicionales, sino que su origen es netamente natural. Si el  $FE > 1$ , la contribución del elemento es de ambos tipos, natural y antrópica; si el  $FE > 10$ , se considera que el elemento está altamente enriquecido y confirma que una fuente alterna del tipo antropogénico ha contribuido a la concentración del metal.

## Resultados y discusión

### Concentraciones de metales en sedimento vial y suelo de la ciudad de Maracaibo

En la tabla 1 se presentan las concentraciones de los metales Zn, Cr, Ni, Pb y Al en muestras de sedimento vial y suelo para cada una de las avenidas estudiadas, así como para la zona de referencia. También se presentan las relaciones entre la concentración en las muestras y la zona de referencia. Los valores encontrados de Al fueron utilizados básicamente para la evaluación de factor de enriquecimiento, ya que este metal es considerado por investigadores como elemento de referencia por encontrarse en altas concentraciones en suelo.

Las concentraciones de los metales evaluados en las diferentes avenidas de la ciudad de Maracaibo presentan un orden decreciente de contenido metálico  $Pb > Zn > Ni > Cr$ . Los niveles de Pb y Zn se muestran significativamente en la totalidad de las avenidas estudiadas, en comparación con la muestra control. Para el caso de Pb, las concentraciones de la muestra control fueron superadas en magnitudes que oscilaron entre 2 veces (caso Los Haticos) y 13 veces (caso Bella Vista) en las muestras de sedimento, mientras que en las de suelo oscilaron entre 2 y 7 veces. Para el Zn, los órdenes de magnitud para sedimento resultaron entre 6 veces (La Limpia, sector La Curva de Molina) y 13 veces (Universidad y Delicias) superiores, mientras que para suelo oscilaron entre 2, 10 y 4 veces, respectivamente. Esta tendencia confirma que las zonas evaluadas están siendo impactadas por emisiones de partículas contentivas de Pb y Zn asociadas al alto tráfico vehicular, como el proceso de combustión de la gasolina y el desgaste de neumáticos.

Por otro lado, los niveles encontrados de estos metales superan lo establecido por normas ambientales (tabla 2). Asimismo, los niveles encontrados superan lo reportado por otros investigadores (tabla 3) en muestras de suelos urbanos, por lo que se considera las avenidas bajo estudio como zonas de alta contaminación por estos metales. Igualmente, las concentraciones de los metales Cr y Ni se encuentran por encima de las reportadas en la zona control, alcanzando, en línea general, en muestras de sedimentos, magnitudes que van de 1,6 a 14 veces para el Cr, y entre 3 y 4 veces para el Ni. En el caso de las muestras de suelo, ambos metales superan el valor en la zona control entre 2 y 5 veces. Esto pudiera ser debido a la presencia de numerosas actividades antrópicas generadoras de esos metales, así como a posibles fuentes fijas en las que se requiere la presencia de estos, tales como talleres de pintura, talleres mecánicos, baterías, entre otras. Los valores de Ni pudieran estar también asociados al uso de com-

Tabla 1  
Concentraciones promedio de metales en avenidas y zona control (R).

Avenidas	Metales, mg/kg					
	Tipo de muestra	Zn (Zn/R)	Cr (Cr/R)	Ni (Ni/R)	Pb (Pb/R)	Al (Al/R)
Universidad	Sedimento n=42	507,38±0,61 (12,9)	1,58±0,14 (9,9)	8,39±0,50 (3,5)	2559,47±0,53 (7,5)	4657,65±0,30 (12,5)
	Suelo n=7	472,77±0,38 (10,1)	0,59±0,32 (1,7)	4,19±0,14 (3,2)	1310,68±0,66 (3,8)	934,31±0,49 (3,6)
Bella Vista	Sedimento n=36	455,19 ±0,60 (11,6)	1,24±0,20 (7,8)	9,59±0,49 (4,0)	4538,03±0,47 (13,3)	1705,61±0,22 (4,6)
	Suelo n=6	174,95±0,33 (3,7)	0,44±0,11 (1,3)	4,76±0,47 (3,6)	2262,37±0,69 (6,6)	984,45±0,88 (3,8)
Guajira	Sedimento n=36	442,16±0,51 (11,2)	0,43±0,19 (2,7)	8,02±0,49 (3,3)	2490,98±0,50 (7,3)	926,08±0,45 (2,5)
	Suelo n=6	294,7±0,47 (6,3)	0,16±0,15 (0,5)	3,92±0,28 (3,0)	1725,30±0,68 (5,1)	696,42±0,43 (2,7)
Delicias	Sedimento n=24	497,13±0,67 (12,6)	2,29±0,24 (14,3)	9,48±0,48 (3,9)	1954,12±0,76 (5,7)	1152,84±0,30 (3,1)
	Suelo n=4	194,55±0,54 (4,1)	0,42±0,05 (1,2)	2,64±0,24 (2,0)	1058,31±0,46 (3,1)	507,18±0,34 (2,0)
Los Haticos	Sedimento n=12	311,05±0,67 (7,9)	0,26±0,01 (1,6)	10,19±0,35 (4,2)	814,72±0,22 (2,4)	1167,14±0,19 (3,1)
	Suelo n=2	186,67±0,80 (4,0)	0,25±0,02 (0,7)	7,20±0,44 (5,5)	641,34±0,61 (1,9)	1463,10±0,23 (5,7)
La Limpia, sector La Curva de Molina	Sedimento N=12	254,75±0,55 (6,5)	1,00±0,11 (6,3)	6,92±0,21 (2,9)	960,11±0,36 (2,8)	1619,72±0,23 (4,4)
	Suelo N=2	83,33±0,55 (1,8)	0,75±0,03 (2,1)	5,46±0,13 (4,2)	2177,92±0,85 (6,4)	1344,52±0,81 (5,2)
Sinamaica (R)	Sedimento N= 2	39,31±0,98 (1)	0,16±0,12 (1)	2,41±0,04 (1)	340,43±0,25 (1)	371,47±0,91 (1)
	Suelo N=2	47,01±0,08 (1)	0,35±0,03 (1)	1,31±0,38 (1)	341,10±0,21 (1)	257,25±0,44 (1)

n: número de muestras. Metal/R: relación de concentración metálica entre avenida y referencia (zona control).

Tabla 2  
Límites permisibles de metales en suelos urbanos para Pb y Zn.

Normativas	Metales (mg/kg)	
	Pb	Zn
Ministerio de Ambiente Italiano (suelos urbanos) (2003) (1)	100	150
Gaceta Oficial Venezolana, Decreto 2.635 (suelo) (1998) (9)	150	300
Regulación y Control de Contaminación de Suelos de Turquía (TSPCR) (2002) (10)	150	50
EPA (suelo) (Yu-Pin y col., 2002) (11)	1-15	11-25

Tabla 3  
Promedio de niveles metálicos en suelo reportados por investigadores.

Fuente	Metales (mg/kg)		
	Pb	Zn	
Imperato M. y col. (2003), suelos urbanos en Naples, Italia (1)	184	180	
Yukselen M.A. (2002), muestras de suelos urbanos en Cyprus, Turquía (10)	394,4	758	
Valores promedios en este estudio	Sedimento, n = 162	2219,57±0,47	411,28±0,60
	Suelo, n = 27	234,49±0,66	1529,32±0,51

n: número de muestras.

bustibles fósiles en vehículos automotores, plantas termoeléctricas y motores diesel. No obstante, los niveles de Cr y Ni no superan lo estipulado en las normativas ambientales (tabla 4).

Estudios realizados por Imperato y col. (2003) reportan niveles de Cr, en superficie de suelos urbanos, entre 1,7-7,3 mg/kg. Como se puede observar, la totalidad de las concentraciones de Cr obtenidas en este estudio resultaron significativamente inferiores.

En el caso de Ni, al revisar lo reportado por Narin y Soyak (12), quienes encontraron en avenidas de alta circulación automotor en suelos de Turquía una concentración promedio 51,8 µg/g, se puede notar que las concentraciones de Ni encontradas en este

estudio son considerablemente bajas, por lo cual se puede decir que no existe contaminación ambiental por este metal en muestras de sedimento y suelo a lo largo de las avenidas bajo estudio.

#### Factor de enriquecimiento

En la tabla 5 se presentan los valores promedio de factor de enriquecimiento calculados para cada una de las avenidas bajo estudio. Se seleccionó el suelo de Sinamaica como material de referencia y el aluminio como elemento de referencia.

En la tabla 5 se aprecia que existe enriquecimiento, principalmente, de los metales Zn, Pb y Ni en las avenidas de la ciudad de Maracaibo.

Tabla 4  
Límites permisibles en suelos urbanos para Cr y Ni.

Normativas	Metales (mg/kg)		
	Cr	Ni	
Gaceta Oficial Venezolana, Decreto 2.635 (1998) (9)	300	-	
Regulación y Control de Contaminación de Suelos de Turquía (TSRCR) (2002) (10)	250	100	
EPA (Yu-Pin y col., 2002) (11)	0,10-10	2-10	
Valores promedios en este estudio	Sedimento, n=162	1,13±0,15	8,76±0,42
	Suelo, n=27	0,43±0,11	4,69±0,28

n= número de muestras.

Tabla 5  
Factor de enriquecimiento en muestras de sedimento y suelo en avenidas de la ciudad de Maracaibo.

Avenidas	Tipo de muestra	Metales				
		Zn	Cr	Ni	Pb	Al
Universidad	Sedimento	0,60	0,25	0,35	0,41	1
	Suelo	2,77*	0,46	0,88	1,06*	1
Bella Vista	Sedimento	1,46*	0,53*	1,10*	2,01*	1
	Suelo	0,97	0,33	0,95	1,73*	1
Guajira	Sedimento	2,61*	0,34	1,70*	2,03*	1
	Suelo	2,32*	0,17	1,11*	1,87*	1
Delicias	Sedimento	2,36*	1,46*	1,61*	1,28*	1
	Suelo	2,10*	0,61	1,02*	1,57*	1
Los Haticos	Sedimento	1,46*	0,16	1,71*	0,53	1
	Suelo	0,70	0,13	0,97	0,33	1
La Limpia, sector La Curva de Molina	Sedimento	0,86	0,45	0,84	0,45	1
	Suelo	0,34	0,41	0,80	1,22*	1
Sinamaica	Sedimento	0,58	0,32	1,27*	0,69	1
	Suelo	1	1	1	1	1

Desde el punto de vista cuantitativo, al comparar los factores de enriquecimiento por metal en las avenidas, se evidencia que para el **Zn** el 83,3% de las muestras de sedimento se encuentran enriquecidas, mientras que para suelo lo están el 66,6%.

Para **Pb** se observa un 50% de enriquecimiento del total de las muestras de sedimento y un 83,3% de las muestras de suelo. Es preciso destacar que el porcentaje de enriquecimiento en suelo por Pb es similar al de Zn en sedimento. Este comportamiento relacionado con Pb en suelo puede ser atribuido a la acumulación progresiva del metal

a través del tiempo, ya que hasta el año 2000 todos los vehículos que circulaban en el país utilizaban gasolina con plomo. No fue sino hasta el mes de agosto del año 2004 cuando desapareció la gasolina con plomo. Adicionalmente, es sabido que tanto el transporte público como el privado, en su mayoría, continuaron empleando gasolina con plomo hasta el año 2004.

Por otro lado, las altas concentraciones de Pb en suelo también pudieran estar sujetas a la dinámica de los metales, ya que una vez presentes en suelo son poco móviles y tienden a acumularse en la parte superficial. Estos pueden seguir diferentes vías, tales como quedarse retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la solución del suelo o bien fijados por procesos de adsorción, complejación y precipitación; ser adsorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas; pasar a la atmósfera por volatilización o, finalmente, movilizarse a los diferentes cuerpos de agua (13).

Con respecto al **Ni**, a diferencia de lo encontrado para los otros metales (Pb, Zn, y Cr), la zona de referencia se muestra enriquecida para este metal en sedimento, por lo que Sinamaica no representa para las muestras de Ni un punto de referencia. Sin embargo, este enriquecimiento puede considerarse marginal por estar cercano a la unidad, lo que indica que su origen puede ser por fuentes tanto naturales como antrópicas.

De lo anterior se desprende que al establecer la comparación de los factores de enriquecimiento en muestras de sedimento a lo largo de las avenidas, se puede notar que la zona de referencia se encuentra entre 1,5 y 1,78 veces más enriquecida que en las avenidas La Limpia (sector La Curva de Molina) y Universidad, respectivamente.

Para **Cr** se observa un enriquecimiento marginal en muestra de sedimento.

Finalmente, se puede observar que los valores de los factores de enriquecimiento que expresan exceso metálico se encuen-

tran por encima de 1, pero por debajo de 10, lo que indica que el enriquecimiento de los metales puede estar dado por fuentes tanto naturales como artificiales. En otras palabras, se infiere con certeza que las avenidas monitoreadas de la ciudad de Maracaibo están influenciadas por fuentes artificiales, específicamente por la alta densidad vehicular. El incremento poblacional contribuye en gran medida con el incremento y la persistencia de los metales tanto en suelo como en sedimento vial, lo que favorece el enriquecimiento de los metales Zn, Pb y Ni. La presencia de estos metales (Zn, Pb y Ni) ha sido detectada por varios investigadores en partículas inhalables finas con  $dp < 1 \mu m$ , asociados con procesos a temperaturas elevadas, entre ellos actividades con tetraetilo de plomo y el desgaste de neumáticos y motores (14), lo que pudiera estar asociado con el enriquecimiento de estos metales.

## Conclusiones

1. Los niveles de Zn y Pb reportados en este estudio exceden los límites estándar establecidos por la Gaceta Nacional de Manejo y Disposición de Desechos Peligrosos y por la normativa del Ministerio de Ambiente de Italia. De acuerdo a lo establecido por la EPA, las concentraciones en promedio de Pb y Zn se encuentran dentro de la clasificación de suelos moderadamente contaminados, en tanto que los valores obtenidos de Ni y Cr se encuentran por debajo de los valores permisibles. Esto permite concluir que las zonas estudiadas de la ciudad están altamente contaminadas por Pb y Zn.

2. Las altas concentraciones de Pb y Zn en las zonas bajo estudio pueden estar asociadas al uso de combustibles fósiles en vehículos automotores y desgaste de neumáticos.

3. Las mayores concentraciones de Pb se encuentran en las avenidas Bella Vista, Guajira y Universidad.

4. Los valores de factor de enriquecimiento de los metales Zn, Pb y Ni a lo largo de las avenidas estudiadas indican que las

fuentes generadoras son tanto de origen natural como artificial. Entre ellas se destacan los procesos a temperaturas elevadas, procesos de combustión, desgaste de neumáticos y motores diesel.

5. Las altas concentraciones de Pb en suelo se atribuyen a la acumulación progresiva del metal en el transcurso del tiempo, ya que la gasolina con tetraetilo de Pb fue utilizada por todos los vehículos que circulaban en el país hasta el año 2000. No obstante, el metal, una vez presente en suelo, puede ser poco móvil o acumularse en la superficie siguiendo vías como quedarse retenido o ser disuelto en la solución del suelo o ser fijado por adsorción, complejación o, finalmente, por precipitación.

6. Los niveles metálicos en la zona control se mostraron muy por debajo de los reportados en la ciudad, lo cual permite catalogar a Sinamaica como una zona limpia y que constituye una buena estación blanco para estudios de concentraciones metálicas.

### Agradecimientos

Los autores desean agradecer al personal del Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (Disa) de la Facultad de Ingeniería y del Laboratorio de Instrumentación Analítica (LIA) de la Facultad de Ciencias de la Universidad del Zulia. Asimismo, al Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e innovación (Fonacit) de Venezuela por el apoyo financiero prestado a través del proyecto S1-2001001064.

### Referencias bibliográficas

1. IMPERATO M., ADAMO P., NAIMO D., ARIENZO M., STANZIONE D., VIOLANTE P. **Environmental Pollution**. 124: 247-256, 2003.
2. MACHADO A. Modelo de dispersión de emisiones en la atmósfera generadas por fuentes móviles (Tesis doctoral). Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Maracaibo (Venezuela), 276 p., 2004.
3. GRANADILLO V. Niveles de plomo total sedimentado en cuatro vías de alta circulación automotor de la ciudad de Maracaibo determinado espectrométricamente. (Trabajo de ascenso). Facultad Experimental de Ciencias, Universidad del Zulia, Maracaibo (Venezuela), 76 p., 2002.
4. NAVA M., MILKELL Y. Determinación del níquel en muestras clínicas y ambientales utilizando la espectrometría de absorción atómica con atomización electrotérmica sin emplear las condiciones STRF (Trabajo de grado). Facultad Experimental de Ciencias, Universidad del Zulia, Maracaibo (Venezuela), 88 p., 2004.
5. MILLER J.C., MILLER J.N. **Estadística para química analítica**. 2.<sup>a</sup> ed. Addison-Wesley Iberoamericana, S.A., Wilmington, Delaware (Estados Unidos), pp. 87-103, 1993.
6. Normas para el control de la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de los desechos peligrosos. Decreto 2.635, 22 de julio de 1998. Extraordinario 5.245, p. 1-31.
7. GANDAN., HERNÁNDEZ H. Niveles atmosféricos de partículas totales suspendidas (PTS) y su contenido metálico en una zona adyacente a una planta de cemento (Tesis de grado), Universidad del Zulia, Facultad de Ingeniería, Maracaibo, Venezuela. 87 p., 2001.
8. MOYER JL., RANDWEILER LE., HOPT SB., KORTE N.E. **Enviñ Sci. Technol**. Ref. de la 789, 1977.
9. YUKSELEN M.A. **Environmental Geology**. 42: 597-603, 2002.
10. YU-PIN L., TUNG-PO T. Y TSUN-KUO CH. **Landscape and Urban Planning**. 62: 19-35, 2002.
11. NARIN I., SOYLAK M. **Trace Elements and Electrolytes**. 16 (2): 99-103, 1999.
12. BARAN E. **Química bioinorgánica**. McGraw-Hill, Madrid (España), pp. 231-234, 1995.
13. PIRELA D. Contenido metálico en partículas inhalables en la atmósfera de la ciudad de Maracaibo (Tesis de maestría). Universidad del Zulia, Maracaibo (Venezuela), pp. 81, 2001.