
INFLUENCIA DE UNA PLANTA TERMOELÉCTRICA EN LA CONCENTRACIÓN DE V Y Ni EN SEDIMENTOS EN LA CIUDAD DE MARACAIBO, VENEZUELA

Analí Machado, Giuseppe Sepede, Neyma García, Gilberto Colina, César García,
Jorge Alaña y Victor Granadillo

RESUMEN

En este trabajo se determinan la distribución y concentraciones de V y Ni en sedimentos viales y la relación de dicha concentración con las cenizas volantes generadas de la combustión del fuel oil en la planta termoeléctrica de la ciudad de Maracaibo, Venezuela. Para tal fin se realizó un muestreo ($n=112$) en época de sequía en sedimento vial, mediante un muestreo en forma radial con centro en la planta termoeléctrica Ramón Laguna. Posteriormente, con los resultados de la distribución generada por el muestreo se diseña una zonificación que consta de 24 puntos seleccionados sobre una cuadrícula. En dichos

puntos se recolectaron tres muestras para cada punto cada 15 días. Las concentraciones fueron medidas por espectrometría de absorción atómica en horno de grafito, mientras que para las cenizas se empleó la atomización en llama. La distribución de las concentraciones de los trazadores y el aporte estimado por parte de las cenizas volantes demostró la influencia de la planta termoeléctrica en las emisiones de estos metales, obteniéndose valores más altos en la zona sur-suroeste de la planta. Las concentraciones de Ni obtenidas estuvieron muy cercanas al máximo valor permisible de referencia de acuerdo a la EPA.

INFLUENCE OF A THERMOELECTRIC FACILITY ON V AND Ni CONCENTRATION IN SEDIMENTS IN THE CITY OF MARACAIBO, VENEZUELA

Analí Machado, Giuseppe Sepede, Neyma García, Gilberto Colina, César García, Jorge Alaña and Victor Granadillo

SUMMARY

In this study the distribution and concentration of Ni and V in vial sediments, as well as their relation to flying ashes produced by fuel oil burning at the thermoelectric facility in Maracaibo city, Venezuela, were determined. Sampling ($n=112$) of vial sediments during the dry season through a radial sampling centered at the Ramón Laguna thermoelectric facility was performed and 24 locations selected on a grid. Later, three samples for each location determined by the first sampling were col-

lected every 15 days. Concentrations were measured by atomic adsorption spectrometry in a graphite furnace, while, flame atomization was used for ashes. The distribution of tracer concentrations and the appraised contribution from the flying ashes showed the influence of the thermoelectric facility on the emissions of these metals, obtaining higher levels at the south-eastern zone of the facility. The Ni concentrations found were near the maximum permissive reference level according to EPA.

Introducción

La creciente necesidad de energía eléctrica ha fomentado el desarrollo tecnológico para poder satisfacerla, muchas veces sin darle importancia al impacto negativo que se produce sobre los dis-

tintos ecosistemas terrestres, incluyendo la salud de los seres humanos. Desde hace algunos años se viene incrementando la importancia de la protección ambiental a través de estudios que evitan o buscan remediar los impactos negativos producidos por las

plantas generadoras de electricidad.

Una fuente importante de energía eléctrica para la ciudad de Maracaibo, Venezuela, es la planta termoeléctrica Ramón Laguna, la cual produce energía eléctrica a razón de 450 KW/h. En su proceso se

consume como combustible el fuel oil residual, más conocido como Bunker C, a razón de $\sim 60 \times 10^6$ l/mes, con una generación de cenizas o cenizas volantes de 200m³ al año por caldera. El fuel oil residual N° 6 satisface las exigencias de la norma Covenin N° 787,

PALABRAS CLAVE / Cenizas Volantes / Níquel / Sedimentos Viales / Vanadio /

Recibido: 18/05/2009. Modificado: 24/02/2010. Aceptado: 26/02/2010.

Analí Machado. Ingeniera Mecánica, Magíster en Ingeniería de Gas y Doctora en Ingeniería Ambiental, La Universidad del Zulia (LUZ), Venezuela. Investigadora asesora, Centro de Combustibles para Vehículos Automotores (CEDEGAS). Dirección: Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Venezuela. Apartado postal 526, Maracaibo 4001A, Edo.

Zulia, Venezuela. e-mail: analimachado@yahoo.com.

Giuseppe Sepede. Ingeniero Industrial y Magíster en Ingeniería Ambiental, LUZ, Venezuela. Asistente de investigación, CEDEGAS, LUZ, Venezuela.

Neyma García. Ingeniera Química, LUZ, Venezuela. M.Sc. en Salud Ambiental, Universidad de Texas, Austin, EEUU. Profesora, LUZ, Venezuela.

Gilberto Colina. Licenciado en Química y Magíster en Ciencias del Ambiente, LUZ, Venezuela. Profesor, LUZ, Venezuela.

César García. Ingeniero Químico, LUZ, Venezuela. M.Sc. en Ingeniería Química, Universidad de Washington, Seattle, EEUU. Profesor, LUZ, Venezuela.

Jorge Alaña. Ingeniero Químico, Maestrías en Matemática Aplicada y en Ingeniería Química, LUZ, Venezuela. Profesor, LUZ, Venezuela.

Victor Granadillo. Licenciado en Química y Maestría en Química, LUZ, Venezuela. Profesor, LUZ, Venezuela.

INFLUÊNCIA DE UMA USINA TERMOELÉTRICA NA CONCENTRAÇÃO DE V E NI EM SEDIMENTOS NA CIDADE DE MARACAIBO, VENEZUELA

Análí Machado, Giuseppe Sepede, Neyma García, Gilberto Colina, César García, Jorge Alaña e Victor Granadillo

RESUMO

Neste trabalho é determinada a distribuição e as concentrações de V e Ni em sedimentos viais e a relação de dita concentração com as cinzas volantes geradas da combustão do óleo combustível na usina termoeletrica da cidade de Maracaibo, Venezuela. Para este fim foi realizada uma amostragem (n=112) em época de seca em sedimento vial, mediante uma amostragem em forma radial com centro na usina termoeletrica Ramón Laguna. Posteriormente, com os resultados da distribuição gerada pela amostragem é desenhada uma zonificação que consta de 24 pontos selecionados sobre uma quadrícula. Em di-

tos pontos foram recolhidas três amostras para cada ponto cada 15 dias. As concentrações foram medidas por espectrometria de absorção atômica em forno de grafito, enquanto que para as cinzas foi empregada a atomização em chama. A distribuição das concentrações dos traçadores e o aporte estimado por parte das cinzas volantes demonstrou a influência da usina termoeletrica nas emissões destes metais, obtendo-se valores mais altos na área sul-sudoeste da usina. As concentrações de Ni obtidas estiveram muito próximas ao máximo valor permissível de referência de acordo a EPA.

pero presenta valores extremos de 2,7-3% de azufre, 450ppm de vanadio, 60ppm de sodio, cenizas sulfatadas entre 0,1 y 0,25%, y viscosidad de 424cp (González *et al.*, 2004). Este combustible proveniente del petróleo contiene metales pesados que provocan impactos negativos a la salud de los seres vivos; tal es el caso del vanadio y el níquel, que en concentraciones elevadas provocan enfermedades respiratorias y de la piel principalmente (Gamero, 1997; Chávez, 1999). Estos metales son depositados en los suelos de las zonas cercanas a la planta por acción del viento al transportar el particulado de las cenizas (*oil fly ash*) producidas por la combustión del combustible usado. Dichas partículas pueden afectar a las personas en la vecindad de la planta, que pueden ser sensibles a la contaminación por vía respiratoria, dérmica o por ingestión de estos metales. Adicionalmente, el V depositado parece ser un inhibidor poderoso en las actividades de enzimas del suelo, incluso si está en trazas. Esta inhibición tarde o temprano reduce los procesos de mineralización de los suelos (Hindy *et al.*, 1990).

El presente trabajo tiene por objetivo general evaluar la distribución de los sedimentos de (*oil fly*

ash) mediante la determinación de las concentraciones de V y Ni en el ambiente urbano de la ciudad de Maracaibo y la relación existente entre dichas concentraciones con las emisiones de cenizas provenientes de una termoeletrica.

Parte Experimental

Ubicación de los puntos de recolección

El municipio Maracaibo ocupa un cuadrilátero territorial costanero, ubicado en la

parte occidental del estrecho del Lago de Maracaibo (Figura 1). Los límites considerados para la determinación preliminar de los puntos de muestreo fueron al norte 10°47'N y 71°47'O, continuándose en línea recta con rumbo este franco hasta un punto ubicado en 10°47'N y 71°38'O sobre la costa del Lago de Maracaibo, en el sitio denominado Salina Rica; al este, desde el punto anterior se continúa por la costa del Lago de Maracaibo hasta el punto de la desembocadura de la cañada Bajo Grande; al sur, se continúa desde el punto anterior por el centro del curso de la cañada Bajo Grande aguas arriba hasta el punto de coordenadas 10°31'N y 71°38'O, situado sobre la carretera que une a Maracaibo con la Concepción, capital del municipio La Cañada de Urdaneta, y se continúa en línea recta hacia el punto oeste, a 10°31'N y 71°47'O. Finalmente, se continúa en línea recta con rumbo norte franco hasta el punto 10°47'N y 71°47'O (Straus *et al.*, 1996).

Recolección preliminar de muestras

El muestreo se realizó con la finalidad de obtener las concentraciones de V y Ni en se-

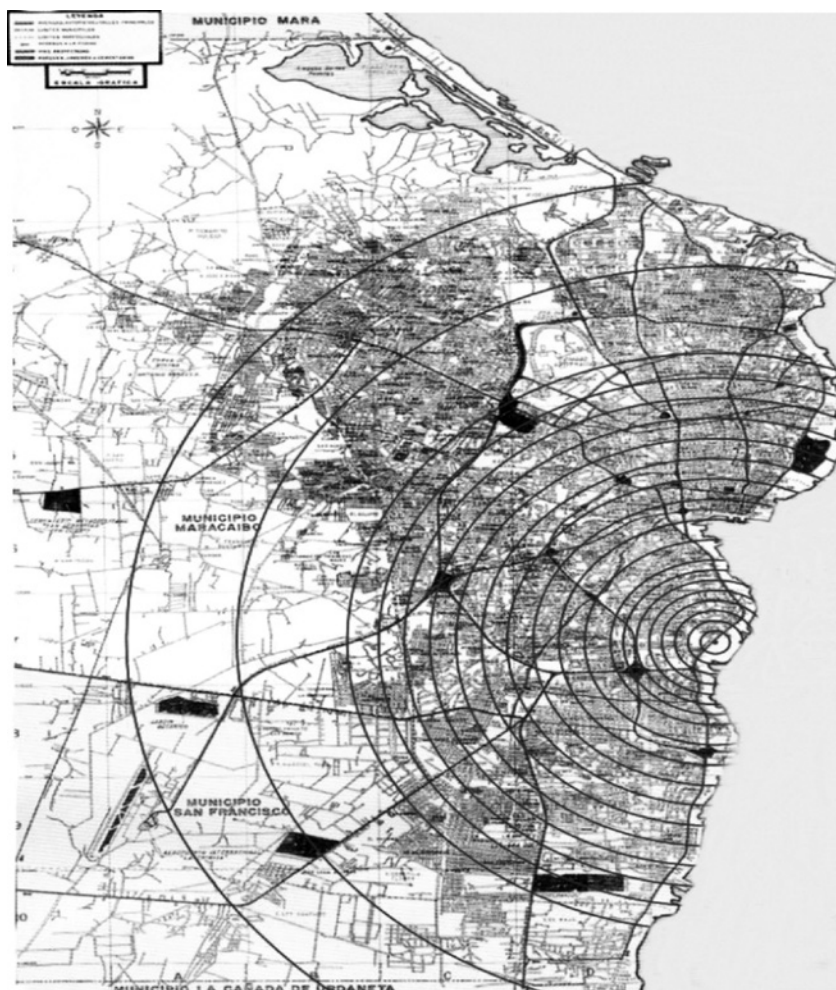


Figura 1. Plano de Maracaibo con trazo de curvas del muestreo preliminar. Cada semicírculo es una curva sobre la cual se encuentran los puntos del muestreo

dimentos urbanos, observar la distribución de estos metales en zonas cercanas a la planta termoeléctrica y abarcar todas las direcciones posibles de los vientos. Luego, con el análisis del muestreo preliminar se seleccionarán las zonas más afectadas y se determinarán nuevos puntos de muestreo.

La recolección se realizó en forma radial por toda la ciudad de Maracaibo, tomando como centro u origen a la planta termoeléctrica Ramón Laguna, ubicada en la avenida Los Haticos, Parroquia Cristo de Aranza, Municipio Maracaibo, Estado Zulia. Cada radio o curva tenía una separación de 500m entre sí hasta la curva N° 8, a partir de la cual la separación entre curvas fue de 1km, o de acuerdo a lo permitido por las condiciones geográficas.

Los puntos de muestreo fueron ubicados en estas curvas con una separación de 500m entre muestra (Figura 1). El número de muestras dependió del tamaño de la curva (para un radio mayor se incluyen más muestras), y si la zona de recolección seleccionada fue accesible o no de acuerdo a su ubicación geográfica (Granadillo, 2002). Las muestras para sedimento en cada punto fueron de 500-1000g, y se completó la toma de un total de 112 muestras.

Las muestras del sedimento vial se recolectaron mediante captación de la capa superficial del suelo en los puntos seleccionados durante la estación climática seca correspondiente al año 2004, utilizando para la recolección pala plástica y cepillo, colocando el sedimento en una bolsa de propileno con cierre hermético y de fácil rotulación (Granadillo, 2002; Nasr *et al.*, 2002).

Tratamiento de las muestras

Cada muestra de sedimento vial urbano se pasó por un tamiz de 50 mesh, unificando el tamaño del grano de tierra, y se secó en estufa a $60 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 24h. El control minucioso de la temperatura fue necesario para evitar la pérdida por volatilización del metal, una vez que fue ampliamente conocido el carácter volátil del Ni y el V, propiedad fisicoquímica relevante de estos analitos. 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 (Gra-

nadillo, 2002; Nasr *et al.*, 2002).

Método analítico

La determinación analítica del Ni y V se realizó con la técnica de espectrofotometría de absorción atómica con atomización electrotrémica (ETA-AAS). Se utilizaron factores de dilución de 10, 20 y 1000X para las alícuotas digeridas de sedimentos viales urbanos, patrones acuosos y certificados.

Se calcularon las desviaciones estándar, las desviaciones estándar relativas y las medias aritméticas con la finalidad de evaluar la reproducibilidad del método y poder descartar, estadísticamente, los valores fuera de serie. Las pendientes de las

curvas de calibración y de adición estándar, se compararon entre sí y se aceptó la inexistencia de interferencias no-espectrales cuando los errores entre estas pendientes fueron menores al 5%.

Las muestras fueron analizadas por triplicado, registrando una absorbancia por pentaplicado.

A las muestras analizadas se le calculó la media aritmética (\bar{x}), la desviación estándar (DE), y la desviación estándar relativa o coeficiente de variación (DER o $CV = DE/\bar{x} * 100$) (Miller y Miller, 1993; Granadillo, 2002). Igualmente, Para la determinación y eliminación de muestras que pudieran considerarse dudosas se aplicó la prueba de rechazo de Chauvenet. (Machado, 2004). Las diferencias se consideraron significativas con $p < 0,05$, con un límite de confianza del 95%.

Muestreo final basado en los resultados del muestreo preliminar

Para la evaluación de las concentraciones del muestreo preliminar se empleó una matriz de puntos en un plano cartesiano que representa el mapa de la ciudad de Maracaibo, donde las distancias entre puntos se expresaron en km respecto a la planta termoeléctrica; las concentraciones en cada punto fueron expresadas en $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. De esta manera se puede observar a los sectores de la ciudad más afectados por las concentraciones de los metales estudiados.

A partir de los resultados de dicho análisis, se estableció una zona de muestreo y se cuadrículó con el tamaño necesario para abarcar todo el sector. El nuevo muestreo se realizó en una zona delimitada por un rectángulo de 3km de

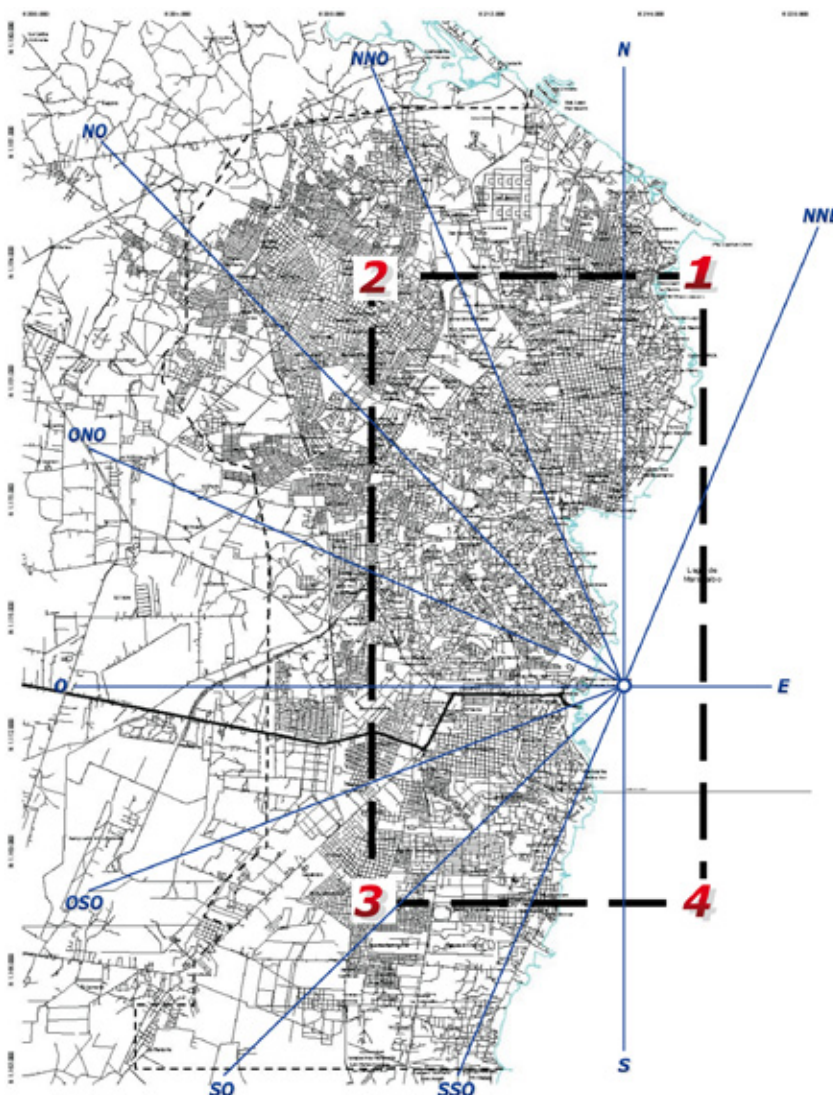


Figura 2. Ubicación preliminar del muestreo en el mapa de Maracaibo.

ancho partiendo de la planta hacia el este de la ciudad y 5km de largo partiendo de la planta hacia el sur de la ciudad. El rectángulo fue dividido en cuadrículas separadas por 1km (Figura 3), para formar una malla de 24 puntos de muestreo, los cuales se especifican en dicha figura. El procedimiento e implementos usados para la recolección fueron igual al muestreo anterior.

Se seleccionaron tres puntos de muestreo adicionales para realizar los estudios de granulometría y medir sus respectivas concentraciones V y Ni. Estos puntos fueron ubicados en los lugares de más alta coincidencia entre las concentraciones más elevadas medidas para cada metal.

La recolección final de todos los muestreos se realizó cada 15 días, hasta completar tres muestreos, con la finalidad de garantizar un buen depósito del *fly ash* en el sedimento urbano.

Pruebas de granulometría

Para el estudio granulométrico se seleccionaron tres puntos en los cuales coincidieron los valores más altos para Ni y V, ubicados en las líneas de la dirección de los vientos. La cantidad de muestra seleccionada para los análisis fue de 100g, debido a las recolecciones que se obtuvieron en



Figura 3. Ubicación de la malla del muestreo final en el mapa de Maracaibo.

los muestreos. Los tamices número 40, 80 y 100 fueron los que retuvieron cantidades de muestra considerable para su análisis.

En la Figura 4 se denota con círculos la ubicación

de los tres puntos seleccionados para el estudio de la granulometría. Las coordenadas representan distancia en km, tomando como punto central a la planta termoeléctrica.

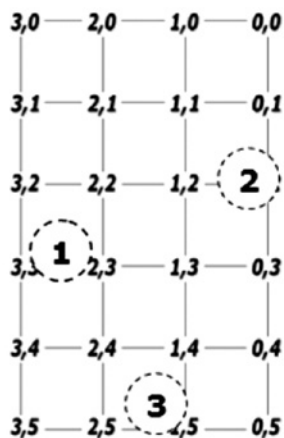


Figura 4. Puntos sobre la malla estudiados por granulometría.

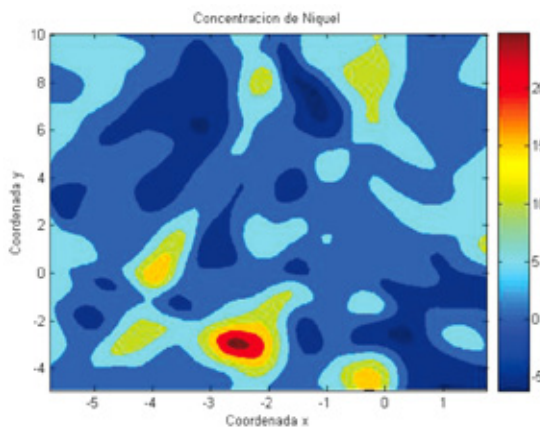


Figura 5. Concentración de níquel ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) vs coordenadas X, Y (km) dentro del perímetro urbano seleccionado.

Resultados y Discusión

Metales en sedimento vial en el muestreo preliminar

La codificación empleada en el muestreo preliminar fue la siguiente: la letra C acompañada del primer número a su derecha representa la curva y su numeración, mientras que el siguiente número a la derecha representa un punto sobre esa curva. Así, C-5-12 representa el punto número 12 en la Curva 5 de la Figura 1.

Las concentraciones de V más elevadas se observaron en puntos de muestreo C-4-2, C-4-6, C-5-2, C-5-3, C-9-2 y C-9-3, entre otros, los cuales se encuentran ubicados en el cuadrante comprendido por la línea sur y oeste de los vientos (Figura 1). Para Ni las concentraciones más elevadas se observaron en puntos como el C-4-3, C-6-4, C-8-6, C-9-6, C-10-8 y C-15-10, entre otros, los cuales se encuentran en el mismo cuadrante que para V. Esto permite establecer la coincidencia entre las concentraciones más elevadas de estos metales en la misma zona.

La temperatura promedio durante los días de muestreo fue de $28,6^{\circ}\text{C}$, con una velocidad promedio del viento de $1,55\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ y una dirección predominante de 30° , es decir en dirección noreste (NE). Esta dirección es predominante en las primeras horas del día, alcanzando la máxima velocidad después del mediodía y disminuyendo al atardecer.

Concentraciones de Ni y Va

En las Figuras 5 y 6 se observan las distribuciones de las concentraciones de Ni y V en $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ en el área demarcada por el rectángulo de la Figura 4; el punto (0,0) corresponde a la planta termoeléctrica.

trica. Como puede apreciarse, las concentraciones más elevadas de Ni se encuentran en el área comprendida entre 1,5 y 3km hacia el oeste, y entre 0 y 5km hacia el sur de la planta termoelectrica; mientras que para el V están en la zona dividida entre 0 y 3km hacia el oeste, y entre 0 y 5km hacia el sur de la planta.

El comportamiento en las curvas de concentración arrojaron los valores más altos y coincidentes para los dos metales en los primeros kilómetros partiendo de la planta termoelectrica (3km hacia el este en el eje X, y 5km hacia el sur en el eje Y. Esta zona es influenciada por las líneas de los vientos S, SSO, SO, OSO y O. En función de estos resultados fue construida la nueva área de muestreo.

TABLA I
PROMEDIO FINAL PARA
VANADIO Y NÍQUEL

Muestra	Concentración ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	
	Vanadio	Níquel
0-0	5,63 \pm 2,53	9,82 \pm 5,45
0-1	4,60 \pm 0,61	4,27 \pm 0,75
0-2	4,13 \pm 1,20	8,02 \pm 4,28
0-3	3,76 \pm 0,69	8,80 \pm 1,56
0-4	20,09 \pm 16,06	5,59 \pm 2,19
0-5	6,12 \pm 3,65	7,26 \pm 0,09
1-0	3,04 \pm 0,69	4,92 \pm 0,90
1-1	6,23 \pm 3,91	2,57 \pm 0,10
1-2	6,35 \pm 3,86	4,95 \pm 2,15
1-3	13,35 \pm 8,64	8,04 \pm 3,71
1-4	18,91 \pm 16,42	7,68 \pm 0,75
1-5	23,45 \pm 1,37	7,49 \pm 1,77
2-0	16,81 \pm 3,04	3,03 \pm 1,40
2-1	23,93 \pm 9,78	6,26 \pm 2,53
2-2	13,56 \pm 2,07	5,06 \pm 1,24
2-3	25,37 \pm 6,73	4,54 \pm 2,16
2-4	31,65 \pm 7,93	9,44 \pm 3,37
2-5	15,27 \pm 3,62	3,16 \pm 2,15
3-0	19,59 \pm 2,01	8,22 \pm 3,28
3-1	19,89 \pm 4,43	5,21 \pm 3,55
3-2	22,43 \pm 5,14	7,39 \pm 3,26
3-3	16,5 \pm 3,89	2,75 \pm 0,18
3-4	15,20 \pm 4,37	4,47 \pm 1,16
3-5	21,18 \pm 6,33	5,79 \pm 1,00

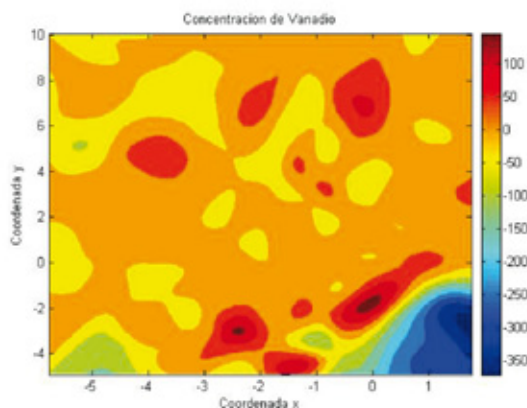


Figura 6. Concentración de vanadio ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) vs. Coordenadas X,Y (Km.) dentro del perímetro urbano seleccionado.

Muestreo final de V y Ni

La Figura 3 muestra la ubicación de la zona final de muestreo o malla con las direcciones de los vientos, mientras que la Figura 7 presenta las codificaciones de los puntos de muestreo en la malla. En la Tabla I pueden apreciarse los promedios obtenidos en cada punto con su respectiva desviación estándar. De acuerdo a dicha tabla y como puede observarse en la Figura 7, el punto donde coincidieron las concentraciones más altas para Ni y V es el punto (2,4), el cual se encontró muy cercano a la dirección SSO del viento. Igualmente, se observó que para V el crecimiento de la concentración aumenta al alejarse del punto de origen (0,0; planta termoelectrica) y en la

TABLA II
PROMEDIO DE V Y NI
EN EL ESTUDIO DE
GRANULOMETRÍA REALIZADO
A LOS PUNTOS 1, 2, Y 3

Muestra	Concentración ($\mu\text{g/g}$)	
	Vanadio	Níquel
1-TO	18,74 \pm 3,02	3,65 \pm 0,09
1-T40	9,91 \pm 0,92	2,97 \pm 0,57
1-T80	10,97 \pm 1,75	4,34 \pm 2,16
1-T100	17,15 \pm 0,55	4,69 \pm 2,31
2-TO	18,8 \pm 6,61	9,07 \pm 4,51
2-T40	7,5 \pm 0,25	3,41 \pm 0,93
2-T80	13,93 \pm 4,01	1,74 \pm 0,05
2-T100	33,11 \pm 2,03	16,13 \pm 8,41
3-TO	22,59 \pm 7,43	7,9 \pm 0,58
3-T40	6,62 \pm 2,22	2,10 \pm 0,05
3-T80	20,89 \pm 9,06	3,57 \pm 1,77
3-T100	12,77 \pm 2,74	8,41 \pm 0,26

dirección de las líneas de los vientos O, OSO, SO y SSO.

El aumento de las concentraciones de Ni resultó ser más irregular. Es así como adicionalmente al punto (2,4), el punto (3,0) en la dirección Oeste y el punto (0,3) hacia el Sur, poseen concentraciones altas.

Prueba de granulometría para V y Ni

En la Tabla II se presentan los promedios y desviación estándar de las

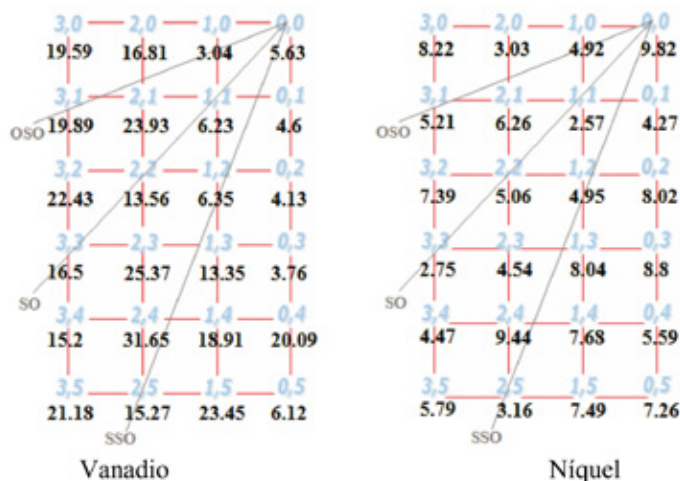


Figura 7. Malla del muestreo final. Los números claros, colocados en los vértices formados por la malla son las ubicaciones de los puntos de muestreo. Los valores en negro representan las concentraciones de V y Ni en la malla.

concentraciones para V y Ni en el estudio granulométrico.

Los puntos 1, 2 y 3 representan los puntos donde se realizó el muestreo, T0 la muestra sin tamizar, T40 la muestra retenida en el Tamiz N° 40, T80 la retenida en el Tamiz N° 80 y T100 la retenida en el Tamiz N° 100.

Analizando la Tabla II puede observarse que para V las mayores concentraciones se encontraron en la

muestra original, a excepción de la muestra 2, en la cual la mayor concentración se presentó en el recolectado en el Tamiz 100; sin embargo, la tendencia es el aumento de la concentración a medida que las partículas son más finas. En el caso del Ni las mayores concentraciones se encontraron en lo recolectado en el Tamiz 100, lo cual indica un comportamiento parecido al del V.

La muestra 1 está sobre la línea SO de los vientos y a 3,83km de la planta termoelectrica sector Sierra Maestra del Municipio San Francisco y el punto 2 entre la SSO y S, a unos 2km,

en el sector El Manzanillo del Municipio San Francisco. Puede apreciarse que el punto 1 se encuentra muy cercano al (2,4) de la malla, que fue el punto con mayor concentración para ambos metales.

Comparación con los niveles ambientales permisibles

Las normativas venezolanas actuales sobre la calidad del aire y control de la contaminación atmosférica (Covenin, 1995a), sobre emisiones de fuentes móviles (Covenin, 1995b) y para el control de la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de los desechos peligrosos (Covenin, 1998), no poseen una regula-

COMPARACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE NÍQUEL CON LOS NIVELES AMBIENTALES EN NORMATIVAS INTERNACIONALES

Metal	Normativa Legal	Concentración Permisible ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
Ni	Regulación control de contaminación de suelos de Turquía (Yukselen, 2002)	Máximo 100
Ni	Clasificaciones de los suelos según USEPA (Yu-Pi <i>et al.</i> , 2002)	No contaminados < 2 2 - 10 Límites permisibles 11- \geq 100 Altamente contaminado

COMPARACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE LOS METALES CON LOS NIVELES AMBIENTALES EN OTRAS INVESTIGACIONES

Metal	Otras Investigaciones	Concentración Reportadas ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
Ni	Metales trazas en muestras de polvo en las avenidas de Nigde en Turquía (Narin y Soylak, 1999)	Concentración media de 51,8
Ni	Rango de la media de níquel mundial para muestras de polvo en avenidas (Narin y Soylak, 1999)	50 - 100
Ni	Contenidos totales y parciales de níquel en suelos superficiales en una zona agrícola al NO de la cuenca del Lago de Valencia en Venezuela (Mogollón <i>et al.</i> , 1988).	El contenido de Ni similar a suelos no contaminados. Factor de enriquecimiento = 1
V	Cantidades de vanadio en suelo proveniente de las cenizas volantes de la combustión de fuel oil en una planta de cemento en Egipto (Hindy <i>et al.</i> , 1990).	340
V	Concentración de vanadio en suelo del desierto al NE de El Cairo, Egipto (Hindy <i>et al.</i> , 1990).	100

ción específica para metales como V y Ni en sedimentos viales ni suelo, por tal motivo se han realizado comparaciones con normativas de otros países para Ni (Yukselen, 2002; Yu-Pin *et al.*, 2002) y con otros estudios (Mogollón *et al.*, 1988; Hindy *et al.*, 1990; Narin y Soylak, 1999). Los valores permisibles y reportados en otros estudios se presentan en las Tablas III y IV.

Para el caso del Ni, aunque los valores obtenidos no exceden los estipulados como máximos según la clasificación de la EPA (Tabla IV), el 25% se encuentra muy cercano a la misma. Por otra parte, las concentraciones obtenidas no exceden los límites de la regulación del control de suelo de Turquía (Yukselen, 2002).

Para V se observó que los valores de las muestras se encontraron por debajo del nivel de V presente en el desierto al NE de la ciudad de El Cairo en Egipto (Hindy *et al.*, 1990).

Conclusiones

- Existe un aporte de V y Ni por parte del *oil fly ash* a las muestras recolectadas en las

zonas circunvecinas a la planta termoeléctrica.

- Los sectores más influenciados por la presencia de V y Ni en los sedimentos recolectados en la ciudad de Maracaibo fueron Sierra Maestra y El Manzanillo, Municipio San Francisco, encontradas entre las líneas de los vientos oeste y sur (específicamente OSO, SO, SSO), considerando como punto central la planta termoeléctrica, siendo a lo largo de la línea SSO donde se encontraron mayores concentraciones de estos metales. Por ello puede concluirse que la dispersión del *oil fly ash* es una de las principales causas de la presencia de estos metales en los sedimentos.

- Las pruebas de granulometría indicaron que se incrementaban las concentraciones de V y Ni a medida que el tamaño de las partículas disminuía, siendo las de mayor concentración las recolectadas por el tamiz N° 100.

- De acuerdo a la clasificación de los suelos según la EPA entre los años 1981 y 1997, las concentraciones de Ni obtenidas en las muestras

analizadas se encontraron muy cercanas al máximo valor permisible de referencia.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen 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.

REFERENCIAS

- Chávez M (1999) *Influencia del Níquel sobre el Lodo Granular Anaeróbico en Reactores por Carga*. Tesis. La Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela. pp. 15-17.
- Covenin (1995a) *Normas sobre la Calidad del Aire y Control de la Contaminación Atmosférica*. Decreto N° 2.673. Extraordinario N° 4.899. 8 pp.
- Covenin (1995b) *Normas sobre Emisiones de Fuentes Móviles*. Decreto N° 2.673. Extraordinario N° 36.532. 7 pp.
- Covenin (1998) *Normas para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de los Desechos Peligrosos*. Decreto N° 2.635. Extraordinario N° 5.245. 31 pp.

Gamero G (1997) *Toxicidad del Vanadio en Organismos Acuáticos en Aguas Costeras del Oeste de la Península de Paraguaná*. Trabajo de Grado. Facultad de Ingeniería. La Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela. pp. 3-7.

González J, García C, Machado A, Rincón C, Villalobos E, Martínez K (2004) Concentración de vanadio y níquel en cenizas volantes por combustión controlada. *Interciencia* 29: 504-509.

Granadillo V (2002) *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. La Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela. 55 pp.

Hindy KT, Andel S, Farag SA (1990) The role of the cement industry in the contamination of air, water, soil and plants with vanadium in Cairo. *Env. Pollut.* 66:195-205.

Machado A (2004) Modelo de dispersión de emisiones en la atmósfera generadas por fuentes móviles. Tesis. La Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela. 276 pp.

Miller JC, Miller JN (1993) *Estadística para Química Analítica*. 2ª ed. Addison-Wesley Iberoamericana. Wilmington, DE, EEUU. pp. 87-103.

Mogollón JL, García B, Bifano C (1988) Evaluación de la contaminación por metales en suelos de la zona de Guacara (Venezuela). *Acta Cient. Venez.* 39: 437-442.

Narin I, Soylak M (1999) Monitoring trace metal levels in Nigde, Turkey: nickel, koper, manganese, cadmium and cobalt contents of the street dust samples. *Trace Elem. Electrol.* 16: 99-103.

Nasr O, Radzi A, Kamal K, Norhayati T (2002) Concentration of PAHs in atmospheric particles (PM-10) and roadside soil particles collected in Kuala Lumpur, Malaysia. *Atm. Env.* 36: 247-254.

Strauss E, Fuenmayor W, Romero J (1996) *Atlas del Municipio Maracaibo*. Mapoteca Agustín Codazzi. Facultad de Humanidades. Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.

Yukselen MA (2002) Characterization of heavy metal contaminated soils in Northern Cyprus. *Env. Geol.* 42: 597-603.

Yu-Pin L, Tung-Po T, Tsun-Kuo Ch (2002) Multivariate analysis of soil heavy metal pollution and landscape pattern in Changhua county in Taiwan. *Landsc. Urban Plann.* 62: 19-35.