

DEPOSICIÓN ATMOSFÉRICA DE METALES TRAZA EN DOS SITIOS COSTEROS EN CAMPECHE, MÉXICO

ATMOSPHERIC WET DEPOSITION OF TRACE ELEMENTS IN TWO COASTAL SITES IN CAMPECHE, MEXICO

JULIA G. CERÓN BRETÓN¹
ROSA M. CERÓN BRETÓN¹
J. J. GUERRA SANTOS¹
M. MURIEL GARCÍA²

FECHA DE RECEPCIÓN: 26 DE ABRIL DEL 2007. FECHA DE ACEPTACIÓN: 13 DE JULIO DEL 2007.

RESUMEN

Se evaluó la influencia de fuentes geoquímicas y antrópicas sobre los niveles de metales traza en la precipitación de dos sitios costeros en el estado de Campeche: Isla del Carmen y San Antonio Cárdenas. Se colectaron simultáneamente 52 muestras de precipitación, del 1 de junio al 31 de octubre del 2004, y se determinó su contenido de metales traza (Al, Fe, Mn, Cu, Zn, Pb y Ni). El valor promedio de pH en San Antonio Cárdenas fue de 4.64 y para Isla del Carmen fue de 5.38; lo que indica que el primero presenta un cierto grado de acidez en el agua de lluvia; mientras que el segundo posee una capacidad buffer natural suficiente para neutralizar la acidez. La influencia de la corteza en la mineralización del

agua de lluvia fue evidente en ambos sitios, específicamente para Al, Fe y Mn; y se encontraron altos porcentajes de fracciones solubles para Cu, Pb, Zn y Ni, siendo más significativos en San Antonio Cárdenas, lo cual sugiere que dichos elementos tuvieron un probable origen antrópico.

PALABRAS CLAVE: PRECIPITACIÓN ÁCIDA, TRAYECTORIAS HACIA ATRÁS, FACTOR DE ENRIQUECIMIENTO, CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

ABSTRACT

The influence of anthropogenic and geochemical sources on trace metal levels in wet deposition was studied in two coastal sites: Isla del Carmen and San Antonio Cardenas, both located in

¹ Universidad Autónoma del Carmen. Calle 56 No. 4 x Av. Concordia. Col. Aviación. C. P. 24180. Ciudad del Carmen, Campeche. Autor para correspondencia: jceron@pampano.unacar.mx

² Instituto Mexicano del Petróleo. Av. Periférica Norte s/n, Esquina con calle 35.B Col. San Agustín del Palmar. C. P. 24180. Ciudad del Carmen, Campeche.

the State of Campeche. Simultaneous samples of precipitation were carried out from June 1 to October 31, 2004. A total of 52 samples were collected to determine trace metals (Al, Fe, Mn, Cu, Zn, Pb and Ni). The pH average value of 4.64 was found at San Antonio-Cardenas, whereas, in Isla del Carmen this value was 5.38, indicating therefore, acidity levels in rainwater in San Antonio-Cardenas while Isla del Carmen showed a natural buffer capacity to neutralize the acidity. The influence of the crust was evident in both sampling sites, specifically for Al, Fe and Mn. High percentages of dissolved fractions were found for Cu, Pb, Zn and Ni, in both sites, however, these percentages were more significant in San Antonio, Cardenas, what suggest that these trace elements had an anthropogenic source.

KEYWORDS: WET DEPOSITION, TRACE METALS, RAINWATER, ATMOSPHERIC POLLUTION.

INTRODUCCIÓN

La deposición húmeda es importante en zonas costeras a causa de su naturaleza episódica y a su transferencia parcialmente en solución al receptor, favoreciendo interacciones biológicas (Kim *et al.*, 2000), por lo que componentes ácidos y metales pesados presentes en la deposición húmeda pueden dañar eventualmente de un modo significativo al ambiente (aguas superficiales, vegetación, fauna, entre otras). Por lo anterior, resulta imperante discutir el origen de los metales traza los cuales se incorporan al ambiente como consecuencia de los procesos de deposición atmosférica (Wong *et al.*, 2003).

La química de elementos traza en la atmósfera está influenciada por

diferentes fuentes de gases y aerosoles, y algunos elementos como los metales pesados, tienen orígenes diversos ya sea a partir de emisiones naturales (biogénicas), emisiones geoquímicas (aerosol marino y corteza) o emisiones antrópicas (procesos de combustión) (Nriagu y Pacina, 1988; Duce *et al.*, 1991; Avila y Rodrigo, 2004).

Un gran porcentaje de los metales se depositan en los alrededores de la fuente emisora, sin embargo, aquellos aerosoles que por su naturaleza presentan una velocidad de sedimentación pequeña, pueden transportarse fácilmente y transferirse por la acción del viento, llegando a depositarse en lugares distantes del punto de emisión (Smirnioudi *et al.*, 1998).

Los metales traza derivados de fuentes geoquímicas pueden contribuir significativamente al contenido total de metales en el agua de lluvia de un sitio específico (Arimoto *et al.*, 1987; Halstead *et al.*, 2000). Sin embargo, los elementos traza pueden presentar un enriquecimiento relativo a su fuente geoquímica lo cual constituye un buen indicador de contaminación (Weise *et al.*, 1984; Taylor y McLennan, 1985), y se expresa en términos de un factor de enriquecimiento (FE), mediante el uso de un elemento trazador (Na^+ o Cl^- para el aerosol marino y Al para la corteza). Así, cuando se tiene un FE cercano a la unidad, quiere decir que el elemento tiene su origen en la fuente evaluada (que puede ser la corteza o el aerosol marino), mientras que un FE mayor a uno, implica que se tiene la contribución de fuentes diferentes, incluyendo las antrópicas.

Una buena correlación entre diferentes metales traza sugiere que pueden tener fuentes comunes. Así, elementos como

Cd, Ni, Cr, Pb, Cu y Zn, se asocian con actividades antrópicas, ya que pueden incorporarse en forma disuelta a valores de pH menores a 5 (Chester *et al.*, 1990; Duce *et al.*, 1991), mientras que Fe y Mn, generalmente no correlacionan con el resto de los metales debido a su origen geoquímico (Hlavay *et al.*, 1998; Kanellopoulou, 2001; Wong *et al.*, 2003; Migliavacca *et al.*, 2004; Basak and Alagha, 2004; García *et al.*, 2006). En general, los metales provenientes de procesos de combustión presentan una mayor solubilidad en agua de lluvia y cuerpos de agua naturales, en comparación con aerosoles provenientes de partículas de aluminosilicatos de la corteza (Spokes y Jickells, 1995; Halstead *et al.*, 2000; Freydier *et al.*, 1998). El Zn generalmente está en forma disuelta (origen diferente a la corteza terrestre) en cambio Fe y Al, no son fácilmente disueltos (origen en partículas de la corteza). El presente trabajo constituye uno de los pocos estudios en México que reporta el contenido de metales traza como fracción disuelta y fracción insolubles; asimismo, reporta por primera vez la composición química de la deposición húmeda en la región de San Antonio Cárdenas y de Ciudad del Carmen, analizando el origen de los elementos en función de trazadores, a partir del cálculo de los factores de enriquecimiento relativos y de la meteorología prevaleciente en el periodo de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La región de San Antonio-Cárdenas ha mostrado un desarrollo acelerado de la industria petrolera. En esta zona se ubica una planta de recompresión,

donde se recibe el gas amargo proveniente de las plataformas costa afuera y se envía a los complejos para su procesamiento. El sistema de seguridad de esta planta tiene 4 quemadores de gas amargo que emiten contaminantes a la atmósfera, principalmente SO₂, partículas e hidrocarburos (IMP, 1998). San Antonio-Cárdenas se ubica en la Península de Atasta a 18° 37' N de latitud y 92° 13' W de longitud, a 40 km de Isla del Carmen y a 10 km de la estación de recompresión de Atasta. Isla del Carmen se ubica a 18.7° N de latitud y 91.64° W de longitud, a 3 m sobre el nivel del mar. Ambos sitios poseen un clima Aw cálido sub-húmedo de acuerdo a la clasificación climática de Köppen, con lluvias durante el verano, con una precipitación promedio anual de 1393.1 mm. La temperatura media anual de la región es de 27.2 °C, y los vientos dominantes son del NE y SE la mayor parte del año, con velocidades promedio de 1.4 m s⁻¹. (García, 1970). Ambos sitios se encuentran dentro de la zona de amortiguamiento del Área Natural Protegida Laguna de Términos (Fig. 1) (CONAMP, 1997).

MUESTREO

Las muestras se colectaron simultáneamente en ambos sitios, usando dos colectores automáticos de deposición en modo húmedo (Tisch Environmental Inc, modelo TE-78-100, USA), del 1 junio al 31 de octubre del 2004. Se instaló un colector en el edificio de la Facultad de Química en Isla del Carmen, y el otro, en uno de los edificios de la Universidad Tecnológica de Campeche en San Antonio-Cárdenas, a 3.0 y 3.5 m de altura sobre el nivel del suelo, respectivamente. Ambos sitios

las muestras se filtraron a través de membranas de $0.45 \mu\text{m}$ (Phenomenex®) usando un sistema de filtración a vacío (Kontesultra-ware®) de 1000ml y previamente lavadas con una disolución de HNO_3 al 1% y enjuagadas con agua tipo I. Para la determinación de metales totales las muestras no fueron filtradas. En ambos casos, la digestión se realizó en recipientes cerrados de película plástica tipo teflón® (Cole Parmer) de 100ml, usando como fuente de energía un equipo autoclave (SCFI-2001). Se determinaron los siguientes metales traza: Hierro (USEPA, 1998-Method 7381), Manganeso (USEPA, 1998-Method 7461), Níquel (USEPA, 1998-Method 7251), Cobre (USEPA, 1998-Method 7211), Zinc (USEPA, 1998-Method 7951), Aluminio (USEPA, 1998-Method 7020) y Plomo (USEPA, 1998-Method 7421). Los metales que generalmente se encuentran presentes a niveles traza en el agua de lluvia se analizaron con horno de grafito, mientras que el Al (que puede estar presente a concentraciones más altas) se determinó por aspiración directa, usando en ambos casos espectrofotometría de absorción atómica.

CONDICIONES CLIMÁTICAS

El sureste de México presenta dos periodos climáticos bien definidos, una estación seca (de noviembre a mayo) y una estación lluviosa (de junio a octubre), por esta razón el muestreo tuvo lugar durante la estación lluviosa y no fue posible evaluar patrones estacionales. No se tuvieron disponibles datos superficiales de viento, por lo que se usó el modelo HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory) de la NOAA para calcular las trayectorias de masas de aire 48 horas hacia atrás e identificar las posibles fuentes que contribuyeron a los niveles de metales traza en la precipitación de ambos sitios de muestreo. En la Fig. 2 se muestra un ejemplo de las trayectorias típicas obtenidas, con vientos dominantes con una componente del NE en ambos sitios de muestreo.

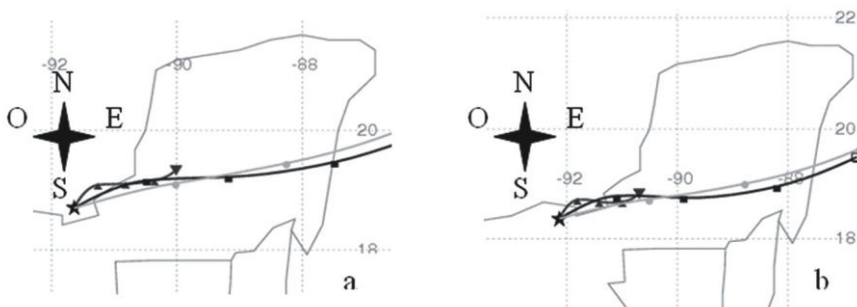


Fig. 2. Trayectorias típicas a tres diferentes alturas (0, 1000 y 2000 m) usadas para identificar las probables fuentes en los dos sitios de muestreo: a) Isla del Carmen, b) San Antonio Cárdenas.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

A la concentración total de metales traza para las muestras colectadas en ambos sitios de muestreo del 1 de junio al 31 de octubre de 2004, se aplicó la correlación de Pearson a un nivel de significancia de $p < 0.001$, utilizando el paquete estadístico SAS versión 8 (The SAS Institute, 1998).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se determinó la concentración total y la fracción disuelta de Al, Fe, Mn, Cu, Zn, Pb y Ni en dos sitios costeros, San Antonio Cárdenas e Isla del Carmen. En el cuadro 1 se muestran las concentraciones promedio totales y disueltas para ambos sitios de muestreo.

En estudios de deposición húmeda los principales elementos químicos, generalmente se separan en dos grupos, dependiendo si esencialmente se encuentran en forma soluble o en forma insoluble. En agua de lluvia, Al, Fe y Mn, generalmente se encuentran dentro del grupo de elementos insolubles, cuya fuente son partículas insolubles de la corteza, principalmente aluminosilicatos (Sequeira, 1988). El segundo grupo está constituido por elementos que tienen un origen antrópico, entre los cuales se encuentran principalmente Cu, Pb, Zn y Ni. Una fracción significativa de Al, Fe y Mn se encuentra presente en forma insoluble (Cuadro 2), lo cual está de acuerdo con lo reportado por otros autores (Colin y Jaffrezou, 1990; Freydier *et al.*, 1998; Halstead *et al.*, 2000; Migliavacca *et al.*, 2004; Kanellopoulou, 2001).

Cuadro 1. Concentraciones promedio totales y de la fracción disuelta de elementos traza ($\mu\text{g l}^{-1}$) y pH en San Antonio Cárdenas e Isla del Carmen, del 1 de junio al 31 de octubre del 2004.

Concentración promedio total								
Sitio	pH	Al	Fe	Mn	Cu	Zn	Pb	Ni
San Antonio-Cárdenas	4.64	19.03	10.74	6.74	30.90	44.81	10.18	10.62
Isla del Carmen	5.38	28.77	19.66	10.29	25.05	39.85	4.88	6.55
Concentración promedio de la fracción disuelta								
Sitio	pH	Al	Fe	Mn	Cu	Zn	Pb	Ni
San Antonio-Cárdenas	4.64	1.90	1.93	0.88	27.50	41.67	9.88	9.66
Isla del Carmen	5.38	1.87	2.30	1.05	19.79	34.15	4.44	5.69

Los elementos traza presentes en aerosoles de la corteza son menos solubles en comparación con otros aerosoles (biogénicos, marinos, o antrópicos), de modo que la distribución de la fase elemental

disminuye conforme se incrementa la aportación de la corteza en la precipitación. Se observó claramente la influencia de la corteza en la mineralización del agua de lluvia tanto en San Antonio Cárdenas como en Isla

del Carmen, específicamente para Al, Fe y Mn. Para ambos sitios, Cu, Pb, Zn y Ni presentan fracciones solubles altamente significativas (Cuadro 2), de modo que puede inferirse que tuvieron

su origen en fuentes antrópicas, lo cual está de acuerdo con reportes previos (Colin y Jaffrezo, 1990; Freydier *et al.*, 1998; Halstead *et al.*, 2000; Migliavacca *et al.*, 2004; Kanellopoulou, 2001).

Cuadro 2. Fracción soluble e insoluble de elementos traza en ambos sitios de muestreo (expresada como porcentaje).

San Antonio-Cárdenas							
	Al	Fe	Mn	Cu	Zn	Pb	Ni
Fracción soluble	10.00	17.97	13.05	88.99	92.99	97.05	90.96
Fracción insoluble	90.00	82.03	86.95	11.01	7.01	2.95	9.04
Isla del Carmen							
	Al	Fe	Mn	Cu	Zn	Pb	Ni
Fracción soluble	6.50	11.70	10.20	79.00	85.70	99.10	86.87
Fracción insoluble	93.50	88.30	89.80	21.00	14.30	0.90	13.13

Debido a la incorporación de CO₂ atmosférico que se disuelve en el agua hasta alcanzar un equilibrio, en sitios libres de influencia antrópica, el agua de lluvia tiene un pH de aproximadamente 5.6. Valores de pH en el agua de lluvia entre 5 y 5.6 sugieren que el sitio tiene aún una capacidad amortiguadora para neutralizar la acidez, mientras que valores de pH por debajo de 5 representan condiciones de acidez. El valor promedio de pH del agua de lluvia encontrado en San Antonio Cárdenas fue de 4.64, y el 65.38 % de las muestras presentaron valores de pH menores a 5, por lo tanto, se puede decir que se trata de un sitio impactado. Por otro lado, el valor promedio de pH del agua de lluvia encontrado en Isla del Carmen fue de 5.38, y el 34.61 % de las muestras presentaron valores de pH menores a 5, por lo tanto, puede considerarse que Isla del Carmen constituye un sitio no

impactado.

El origen de los elementos en el agua de lluvia puede determinarse mediante la correlación entre elementos tanto en el contenido total como en la fracción disuelta y sirve para identificar algunas fuentes en común de especies atmosféricas o algunos procesos de remoción similares durante los mecanismos de remoción en las nubes (conocido en inglés como Rain-out) y lavado atmosférico (Wash-out) (Jaffrezo *et al.*, 1990; Lim y Jickells, 1990). En el cuadro 3, se observa que los elementos que se encuentran presentes en mayor proporción en forma insoluble (Al, Fe y Mn) presentan entre sí correlaciones significativas para ambos sitios de muestreo ($\alpha=0.05$), sugiriendo que tienen su origen en una fuente en común, probablemente las partículas del suelo o de la corteza. Asimismo, los elementos que se encuentran

presentes en mayor proporción en forma soluble (Cu, Zn, Pb y Ni) presentan correlaciones significativas entre sí, en ambos sitios de muestreo ($\alpha=0.05$), sugiriendo que tienen fuentes en común (probablemente fuentes antrópicas), situación que ha sido anteriormente reportada para otros sitios (Colin y Jaffrezo, 1990; Freydier *et al.*, 1998; Halstead *et al.*, 2000;

Kanellopoulou, 2001; Migliavacca *et al.*, 2004; Basak and Alagha., 2004; García *et al.*, 2006). La dirección y velocidad del viento influyen en la composición química de la lluvia. Dependiendo de la dirección del viento, se tiene la influencia de fuentes continentales, locales y/o regionales ubicadas viento arriba, o la influencia de fuentes marítimas.

Cuadro 3. Coeficientes de correlación para pares de elementos (como contenido total) para las muestras colectadas en ambos sitios de muestreo del 1 de junio al 31 de octubre de 2004 ($\alpha < 0.001$).

San Antonio-Cárdenas									
Coeficiente de correlación	Al/Fe	Al/Mn	Fe/Mn	Cu/Zn	Cu/Pb	Zn/Pb	Cu/Ni	Zn/Ni	Pb/Ni
	0.918	0.812	0.940	0.973	0.944	0.945	0.848	0.802	0.839
Isla del Carmen									
Coeficiente de correlación	Al/Fe	Al/Mn	Fe/Mn	Cu/Zn	Cu/Pb	Zn/Pb	Cu/Ni	Zn/Ni	Pb/Ni
	0.957	0.928	0.917	0.904	0.900	0.930	0.899	0.904	0.924

Para identificar las posibles fuentes diferentes al aerosol marino o a la corteza que pudieron contribuir a la mineralización de la precipitación en los sitios de estudio, se calcularon las trayectorias de las masas de aire, 48 horas antes de cada evento de precipitación ($\alpha 0, 1000$ y 2000 m) usando el modelo Hysplit de la NOAA. Con las trayectorias calculadas se obtuvieron las frecuencias de ocurrencia de los vientos dominantes para cada sitio. La dirección dominante del viento en Isla del Carmen fue del NE, es decir, estuvo bajo la influencia de aire marítimo, lo cual era de esperarse, dada su ubicación; también a que el muestreo se realizó durante el verano, cuando se tiene la influencia de los vientos alisios.

La dirección dominante del viento en San Antonio Cárdenas fue del NE, lo cual sugiere que se tuvo la influencia de fuentes antrópicas locales ubicadas al NE del sitio de muestreo, probablemente, la estación de recomposición de gas amargo de Atasta, en donde se tienen emisiones de gases y partículas que a través de procesos de conversión gas-partícula y coagulación pueden dar lugar a aerosoles secundarios que se incorporen eventualmente al agua de lluvia y a sea por procesos de nucleación heterogénea o por remoción en las nubes y lavado atmosférico. No obstante, otra fuente que pudo contribuir significativamente a los niveles de elementos traza en el agua de lluvia son las emisiones vehiculares,

dado que el sitio de muestreo en Isla del Carmense ubica en una de las avenidas principales de la ciudad, mientras que San Antonio Cárdenas se encuentra a la orilla de la carretera federal 180 (Villahermosa Ciudad del Carmen).

Para determinar las posibles fuentes geoquímicas y antrópicas de los elementos presentes en la precipitación, se calcularon los FE para cada elemento traza, relativos a la corteza, y la fracción de la corteza para cada constituyente. Estos cálculos se realizaron de acuerdo con una metodología propuesta previamente (Ahmed *et al.*, 1990) y se presentan en el Cuadro 4.

Porsu naturaleza, el Al en la precipitación tiene su origen exclusivamente en la corteza. Un FE cercano a la unidad revela un origen predominante de la corteza; mientras que un valor mayor a la unidad, indica un enriquecimiento y la posibilidad de que otras fuentes adicionales contribuyan a la mineralización del agua de lluvia. Los procesos a alta temperatura (fundición de metales, combustión y actividad volcánica) usualmente son fuentes de partículas metálicas con un origen diferente a la corteza (Cu, Cd, Zn, Pb y Ni) en la atmósfera (Nriagu, 1989; Nriagu

y Pacina, 1988). Metales tales como Pb, Zn y Cr son a menudo elementos enriquecidos (Berg *et al.*, 1994). Los FE para los elementos Zn, Cu, Pb y Ni presentes en las muestras de agua de lluvia de San Antonio Cárdenas muestran valores mayores a 1 (Cuadro 4), por lo que puede inferirse que tuvieron un origen diferente a la corteza, probablemente de tipo antrópico. Para Fe y Mn, los FE son menores a la unidad, y las fracciones de la corteza fueron del 100%, sugiriendo que tuvieron un origen netamente en partículas del suelo o en la corteza.

En Isla del Carmen (Cuadro 4), a excepción del Mn (cuya fracción de la corteza fue del 100 %) todos los elementos traza mostraron FE mayores a 1, esto implica que el Mn tuvo un origen neto en la corteza, mientras que el resto de los elementos tuvieron un origen diferente a la corteza, probablemente de origen antrópico.

El Fe presentó un FE ligeramente mayor a la unidad, y la fracción de la corteza fue de 88%, sugiriendo que el enriquecimiento no fue significativo, y que por lo tanto, la mayor proporción de este elemento tuvo un origen geoquímico.

Cuadro 4. Factores de enriquecimiento (FE) relativos a la corteza para ambos sitios de muestreo.

Elemento	FE en San Antonio- Cárdenas	FE en Isla del Carmen
Fe	0.93	1.13
Mn	0.92	0.93
Zn	3.25	1.91
Cu	2.99	1.61
Pb	4.55	1.44
Ni	4.47	1.82

CONCLUSIONES

Este estudio aborda por primera vez la deposición de metales traza en la región de San Antonio Cárdenas y Ciudad del Carmen y aporta datos preliminares para establecer una base de datos ambientales en la región sureste de México. En ambos sitios de muestreo se encontró una fracción significativa de Al, Fe y Mn en forma insoluble; no mostraron enriquecimiento y correlacionaron significativamente entre sí, lo cual sugiere que tuvieron su origen en una fuente en común, probablemente las partículas del suelo o de la corteza. Se puede concluir que la influencia de la corteza en la mineralización del agua de lluvia fue muy evidente en ambos sitios. Se observó una relación entre los valores de pH mayores a 5 y los elementos que tienen su origen predominantemente en la corteza, y que a su vez presentan una fracción altamente significativa en fase insoluble.

En ambos sitios se encontró una fracción significativa de Cu, Pb, Zn y Ni en forma disuelta (fracción soluble) y mostraron FE mayores a la unidad (es decir, se

trata de elementos enriquecidos), correlacionando significativamente entre sí, lo que sugiere que tuvieron fuentes en común (probablemente fuentes antrópicas).

Finalmente, el enriquecimiento para Cu, Pb, Zn y Ni, fue más significativo para San Antonio Cárdenas que para Isla del Carmen en función de la dirección dominante del viento en San Antonio Cárdenas (NE), lo cual se atribuye a que el sitio estuvo bajo la influencia de fuentes antrópicas locales ubicadas en esta dirección (probablemente la estación de recompresión de Atasta). Sin embargo, la contribución por fuentes vehiculares dada la localización de los sitios de muestreo pudo ser importante. Un muestreo de agua de lluvia más intensivo ayudará a entender el proceso de deposición de metales traza; asimismo, se podrán obtener datos suficientes para calcular los flujos de deposición. Para establecer patrones de flujo que proporcionen más información se requiere de datos de viento obtenidos a partir de radiosondeos a diferentes altitudes.

BIBLIOGRAFÍA

Ahlers, W.W.; Reid, M.R.; Kim, J.P. and Hunter, K.A. 1990. Contamination-free sample collection and handling protocols for trace elements in natural fresh waters. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.* 41:713-720.

Ahmed, A. F. M; Singh, R.P., and Elmubarak A.H. 1990. Chemistry of atmospheric precipitation at the western Arabian Gulf Coast. *Atmospheric Environ. Part A. General Topics.* 24(12)2927-2934.

Arimoto, R; Duce, R.A; Ray, B.J; Hewitt, A.D. and Williams J. 1987. Trace elements in the atmosphere of American Samoa: concentrations and deposition to the tropical South Pacific. *J. Geophysical Res.* 92:8465-8479.

Avila, A. and Rodrigo, A. 2004. Trace metal fluxes in bulk deposition, throughfall and stemflow at two evergreen oak stands in NE Spain subject to different exposure to the industrial environment. *Atmospheric Environ.* 38(2)171-180.

Basak, B. and Alagha, O. 2004. The chemical composition of rainwater over Büyücekmece Lake, Istanbul. *Atmospheric Res.* 71(4)275-288.

Berg, T.; Royset, O. and Steinnes, E. 1994. Trace elements in atmospheric precipitation at Norwegian background stations (1989-1990) measured by ICP-MS. *Atmospheric Environ.* 28(21)3519-3536.

Chester, R; Nimmo, M; Murphy, K.J.T. and Nicholas E. 1990. Atmospheric trace metals transported to the western Mediterranean: data from a station on Cap Ferrat. In: *Second EROS 2000 Workshop, Blanes, Spain, 6-9 February 1990. Water Pollution Research Reports.* 20:597-612.

Colin, J.L. and Jaffrezo, J. L. 1990. Solubility of mayor species in precipitation: factors of variation. *Atmospheric Environ.* 24(3)537-544.

CONANP. 1997. Programa de manejo del área de protección de flora y fauna "Laguna de Términos". Instituto Nacional de Ecología. México. 166 p.

Duce, R.A.; Liss, P.S.; Merrill, J.T.; Atlas, E.L.; Buat-Menard, P.; Miller, J.M.; Prospero, J.M.; Arimoto, R.; Church, T.M.; Ellis, W.; Galloway, J.N.; Hansen, L.; Jickells, T.D.; Knap, A.H.; Reinhardt, K.H.; Schneider, B.; Soudine, A.; Tokos, J.J.; Tsunogai, S.; Wollast, R. and Zhou, M. 1991. The atmospheric input of trace species to the world ocean. *Global Biogeochem. Cyc.* 5(3)193-259.

Freydier, R.; Dupre, B. and Lacaux, J.P. 1998. Precipitation chemistry in Intertropical Africa. *Atmospheric Environ.* 32(4)749-765.

García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen". 4ª Ed. Offset Larios. México, D. F. 217 p.

García, R.; Torres, M. C.; Padilla, H.; Belmont, R.; Azpra, E.; Arcega-Cabrera, F. and Báez, A. 2006. Measurement of chemical elements in rain from Rancho Viejo, a rural wooded area in the State of Mexico, Mexico. *Atmospheric Environ.* 40(32)6088-6100.

Halstead, M. J.; Cunninghame, R. G. and Hunter, K. A. 2000. Wet deposition of trace metals to a remote site in Fiordland, New Zealand. *Atmospheric Environ.* 34(4)665-676.

Hlavay, J.; Polyak, K.; Molnar, A. and Meszaros, E. 1998. Determination of the distribution of elements as a function of particle size in aerosol samples by sequential leaching. *Analyst.* 123:859-863.

IMP. 1998. Diagnóstico de la Calidad Ambiental en la Zona Marina y Costera de PEP, Fase I. Gerencia de Seguridad Industrial y Protección Ambiental. PEP. Región Marina.

Jaffrezo, J. L.; Colin, J. I. and Gross, J. M. 1990. Some physical factors influencing scavenging ratios. *Atmospheric Environ.* 24(12)3073-3083.

Kanellopoulou, E.A. 2001. Determination of heavy metals in wet deposition of Athens, *Glob. Nest Int. J.* 3(1)45-50.

Kim, G.; Scudlark, J.R. and Church, T.M. 2000. Atmospheric wet deposition of trace elements to Chesapeake and Delaware Bays. *Atmospheric Environ.* 34(20) 3437-3444.

Lim, B. and Jickells T.D. 1990. Dissolved, particulate and total trace metal concentrations in North Atlantic precipitation collected on the global change expedition. *Glob. Biogeochem. Cyc.* 4(4)445-458.

Migliavacca, D.; Teixeira, E.C.; Pires, M. and Fachel, J. 2004. Study of chemical elements in atmospheric precipitation in South Brazil. *Atmospheric Environ.* 38(11)1641-1656.

Nriagu, J.O. 1989. A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals. *Nature* 388(6210)47-49.

Nriagu, J.O. and Pacyna, J.M. 1988. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature* 333(6169)134-139.

SAS Institute. 1998. SAS/STAT Guide for personal computers. Versión 8.0 North Carolina, United States of America. 585 p.

SCFI. 2001. NMX-AA-051-SCFI-2001. Análisis de Agua-Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales, y residuales tratadas. Método de prueba. (Cancela a la NMX-AA-051-1981) *Water Analysis - Determination Of Metals By Atomic Absorption In Natural, Drinking, Wastewaters And Wastewaters Treated - Test Method*

SCFI. 2000. NMX-AA-008-2000. Aguas. Determinación de pH. Método Potenciométrico.

Sequeira, R. 1988. On the solubility of some natural minerals in atmospheric precipitation. *Atmospheric Environ.* 22 (2) 369-374.

Smirnioudi, V.; Thomaidis, M. S.; Piperaki, E. A. and Siskos, P. A. 1998. Determination of trace metals in wet and dust deposition in Greece. *Fresenius Environ. Bul.* 7(85)85-90.

Spokes, L.J. and Jickells, T.D. 1995. Speciation of metals in the atmosphere. 137-169 pp. In: Ure, A. M. and Davison, C.M. (Eds), *Chemical Speciation in the Environment*. Blackie, London. 234 p.

Taylor, S.R. and McLennan, S.M. 1985. The continental crust: Its composition and evolution. Blackwell Scientific, London. 312 p.

USEPA. 1998. Method 7020. Aluminum (Atomic Absorption, Direct Aspiration). *Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes*. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Research and Development. Volume I, Section A, Chapter 3- Inorganic Analysts.

USEPA. 1998. Method 7211. Copper (Atomic Absorption, Furnace Technique). Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Research and Development. Volume I, Section A, Chapter 3- Inorganic Analysts.

USEPA. 1998. Method 7251. Nickel (Atomic Absorption, Furnace Technique). Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Research and Development. Volume I, Section A, Chapter 3- Inorganic Analysts.

USEPA. 1998. Method 7381. Iron (Atomic Absorption, Furnace Technique). Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Research and Development. Volume I, Section A, Chapter 3- Inorganic Analysts.

USEPA. 1998. Method 7951. Zinc (Atomic Absorption, Furnace Technique). Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Research and Development. Volume I, Section A, Chapter 3- Inorganic Analysts.

USEPA. 1998. Method 7461. Manganese (Atomic Absorption, Furnace Technique). Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Research and Development. Volume I, Section A, Chapter 3- Inorganic Analysts.

USEPA. 1998. Method 7421. Lead (Atomic Absorption, Furnace Technique). Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Research and Development. Volume I, Section A, Chapter 3- Inorganic Analysts.

Weisel, C.P.; Duce, R.A.; Fasching, J.L. and Heaton, R.W. 1984. Estimates of the transport of trace metals from the ocean to the atmosphere. J. Geophysical Res. 89(D7)11607-11618.

Wong, C.S.; Li, X.D.; Zhang, G.; Qi, S.H. and Peng, X.Z. 2003. Atmospheric deposition of heavy metals in the Pearl River Delta, China. Atmospheric Environ. 37(6) 767-776.

Forma correcta de citar este trabajo.

Cerón Bretón, J.G.; Cerón Bretón, R.M. Guerra Santos J.J. y Muriel García, M. 2007. Deposition atmosférica de metales traza en dos sitios costeros en Campeche, México. U. Tecnociencia 1(1) 49-61