

## Características isotópicas del material particulado en el valle de Chihuahua

E. F. Herrera-Peraza<sup>1\*</sup>, J. I. Carrillo-Flores<sup>1</sup>, Campos-Trujillo<sup>1</sup>, E. Ramírez-Espinoza<sup>1</sup>, R. Gómez<sup>1</sup>, M. E. Montero-Cabrera<sup>1</sup>, M. Sosa-Cerecedo<sup>2</sup>, L. A. Ortega-Chávez<sup>1</sup>, R. Pérez-Balam<sup>1</sup>, L. M. Rodríguez-Vázquez<sup>1</sup>, B. Trujillo-Navarrete<sup>1</sup>, J. A. Acosta-Besada<sup>1</sup> y M. A. Rodríguez-Villa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Materiales Avanzados. Calle Miguel de Cervantes # 120, Complejo Industrial Chihuahua. CP: 31109, Teléfono: (614) 4 39 4806, Fax: (614) 4 39 1112 <sup>2</sup>Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Zootecnia. Periférico Francisco R. Almada, km 1, Teléfono (614) 4 34 0303, Fax (614) 4 390345. Centro de Investigación en Materiales Avanzados S. C. (CIMAV).

Recibido 27 mayo 2007, revisado 19 septiembre 2007, aceptado 17 noviembre 2007

*Isotopic characteristics of particulate matter in the Chihuahua valley*

### Abstract

Levels of <sup>137</sup>Cs and <sup>7</sup>Be in aerosols and silts have been measured in region of Chihuahua City during a short period: May to September 2005 with verifications in 2007. <sup>137</sup>Cs showed the same seasonal trend as <sup>7</sup>Be. The <sup>137</sup>Cs/<sup>7</sup>Be ratio obtained Cienfuegos, Cuba and Chihuahua in this period was used to calibrate the long-terms database of <sup>137</sup>Cs recorded in Cienfuegos. The data base was then employed to obtain a simple expression which permits reconstruct the <sup>137</sup>Cs monthly concentration in Chihuahua since 1957, after studies of the behavior of both isotopes in the air and the silt of seven collection points of the City of Chihuahua. Results of modeling of contents for both isotopes in the city of Chihuahua are show too.

*Key words:* Particulate matter, silt, isotopes, gamma spectrometry

### Resumen

Se reconstruyó la señal de los niveles de <sup>137</sup>Cs y <sup>7</sup>Be en aerosoles y limos se midieron en la región de la ciudad de Chihuahua durante un corto período que va de mayo a septiembre del 2005. Se observó durante determinación de las actividades específicas que ambos isótopos presentan la misma tendencia. Se usó la relación de las concentraciones <sup>137</sup>Cs/<sup>7</sup>Be de Cienfuegos, Cuba, obtenida en el período de enero a diciembre y la de Chihuahua de mayo a septiembre del 2005 con verificaciones en el 2007, para poder calibrar los datos de largo período registrados en Cienfuegos. Los datos fueron usados para obtener una expresión empírica sencilla que permitió estimar la concentración mensual de <sup>137</sup>Cs desde 1957 en la ciudad de Chihuahua, después de analizar el comportamiento de ambos isótopos en el aire y el los limos en los siete puntos de colección escogidos en la ciudad de Chihuahua. Los resultados de las modelaciones de de los contenidos de ambos isótopos en la ciudad de Chihuahua también son mostrados.

*Palabras clave:* material particulado, limos, isótopos, espectrometría gamma

### Introducción

El <sup>7</sup>Be (T<sub>1/2</sub> = 53.3 d) ha sido ampliamente estudiado como trazador para estimar los procesos

que afectan la distribución de contaminantes tanto en los procesos de sistemas acuáticos como los atmosféricos (Baskaran et al., 1993; Baskaran et al., 1993b), en deposiciones de sedimentos (Sharon,

\* Autor de correspondencia  
E-mail: eduardo.herrera@cimav.edu.mx

2001) y en procesos atmosféricos (Todorobich et al., 1999; Fogh et al., 1999). El  $^7\text{Be}$  se produce en la alta troposfera y baja estratosfera, uniéndose el mismo a la superficie de los aerosoles disponibles con diámetros medios de  $0.3 \mu\text{m}$ . Por eso las mediciones del  $^7\text{Be}$  en los aerosoles pueden dar una medida del transporte de este material desde la alta troposfera o baja estratosfera donde este es muestreado. El  $^7\text{Be}$  es un producto de la espalación del oxígeno y el nitrógeno por medio de la energía de los rayos cósmicos que ocasionan la formación de  $\text{BeO}$  y  $\text{Be}(\text{OH})_2$  (Jeffrey et al., 2003), el radionúclido artificial (antropogénico)  $^{137}\text{Cs}$  ( $T_{1/2} = 30 \text{ a}$ ) también ha sido ampliamente usado para estudiar procesos de transporte de contaminantes isotópicos en la era nuclear. La deposición sedimentaria global del  $^{137}\text{Cs}$  más conocida como fallout es una consecuencia de las pruebas nucleares desde 1957 hasta 1980 y de los accidentes ocurridos en planta nucleares ocurridos después de este período (UNSCEAR, 1993). En el presente, los radionúclidos de larga vida permanecen detectables en la atmósfera a partir de los aerosoles que son depositados en la superficie de la Tierra de forma húmeda o seca y resuspendidos por medio de los mecanismos de arrastre eólico y transporte vial.

El objetivo de este trabajo fue, primeramente demostrar que la presencia del  $^7\text{Be}$  en las regiones más bajas de la atmósfera se debe tanto a su transporte desde la alta estratosfera o baja troposfera hasta la superficie de la Tierra, como a la resuspensión por arrastre eólico desde el suelo o al transporte en la ciudad, mientras que para el caso del  $^{137}\text{Cs}$  se debió solamente a la resuspensión desde el suelo por arrastre eólico y por el movimiento de los autos en las zonas más urbanizadas de la ciudad. Los valores de las concentraciones de  $^7\text{Be}$  y de  $^{137}\text{Cs}$  en  $\mu\text{Bq m}^{-3}$  y  $\text{mBq m}^{-3}$ , respectivamente, fueron medidas en siete puntos ubicados en las zonas de mayor

contaminación, donde fueron colocados los impactores de PM10 (material particulado con corte en diámetros de  $10 \mu\text{m}$  o menores).

## Material y métodos

### Área de Monitoreo

El área metropolitana de la Ciudad de Chihuahua

está ubicada en el centro del estado de Chihuahua y está ubicada en los  $28^\circ 37'$  de latitud norte y los  $106^\circ 05'$  de longitud oeste. Tiene una temperatura promedio anual de  $13^\circ \text{C}$ . Su clima es seco, con una humedad relativa promedio anual de  $45 \%$ , lo que hace que los contenidos de partículas por erosión sean relativamente elevados. El viento promedio anual es de dirección nordeste. Está rodeada de tres sierras fundamentales que influyen fuertemente en la dirección del viento superficial, éstas son la Sierra de la Haciendita, al oeste de la ciudad, la Sierra de Nombre de Dios, al este y las Sierras de Pastorías y La Gloria al sur. Estas sierras tienen un origen volcánico por lo que en las cuencas hidrográficas citadas abundan los sedimentos geológicos sedimentarios formados fundamentalmente por un paquete de rocas intermedias, principalmente básicas de edad Terciario Superior, constituidas por tobas, ignimbritas riolíticas y andesitas basálticas. El contenido de estas rocas es fundamentalmente de metales pesados e isótopos que constituyen series radiactivas. La aparición de los isótopos más comunes:  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ , entre otros, se debe fundamentalmente al arrastre eólico por erosión, emisión natural del terreno, al uso de suelos.

En el área de estudio se escogieron siete puntos de muestreo siguiendo criterios de cercanías a vialidades e industrias importantes, éstos fueron el Centro de Investigaciones en Materiales Avanzados S.C. (CIMAV), la industria Delphi (DELPHI), el edificio de la Rectoría del Centro Histórico de la Ciudad (RECTORIA), la industria Sabamex (SABAMEX), el Laboratorio de Salud (LABSAL), el Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios (CBETIS) y las Granjas de la Universidad de Zootecnia (GUNIVERS).

## Resultados y discusión

Obtención de una expresión empírica sencilla para la estimación de la concentración del  $^{137}\text{Cs}$  en la atmósfera de Chihuahua.

El comportamiento temporal de los aerosoles de la ciudad de Chihuahua presentan valores de las concentraciones  $^7\text{Be}$  vs.  $^{137}\text{Cs}$  coeficiente de correlación de Pearson por encima de un  $70 \%$  con probabilidades de error menores que el  $5 \%$ .

El análisis unificado de aerosoles y limos sigue mostrando que julio es el mes más estable, por ser

al mismo tiempo el más seco junto a junio. Si graficamos independientemente los valores de concentración en la atmósfera de  $^7\text{Be}$  y  $^{137}\text{Cs}$  obtenidos solamente en el período de mayo a septiembre en nuestro trabajo, con los obtenidos como promedio en las campañas de Cienfuegos para todos los meses del año, teniendo en cuenta las premisas anteriores, se puede buscar una relación matemática sencilla por medio de ajustes polinómicos de segundo grado extrapolados. De las razones polinómicas extrapoladas  $^{137}\text{Cs}/^7\text{Be}$ , obtenidas tanto para Chihuahua como para Cienfuegos se puede construir un gráfico para determinar el valor de la pendiente que debe ser algo menor a la unidad manteniendo las diferencias en latitud entre ambas ciudades.

1957 hasta la fecha despejando de la siguiente forma la expresión (1):

$$^{137}\text{Cs}_{\text{Chihuahua}} = 1.15 \times ^{137}\text{Cs}_{\text{Cienfuegos}} \times \frac{^7\text{Be}_{\text{Chihuahua}}}{^7\text{Be}_{\text{Cienfuegos}}} \quad (2)$$

De forma gráfica, los resultados sen mostrados el la Fig. 2. Se puede observar que en el año 1963 las actividades específicas de  $^{137}\text{Cs}$  llegaron a ser de  $7 \text{ mBq.m}^{-3}$ . Los valores obtenidos experimentalmente sirvieron de entrada para el programa Multiscale Climatic Chemistry Model (MCCM) con el cual se obtuvo la distribución del  $^7\text{Be}$  y del  $^{137}\text{Cs}$  como se muestra en la Fig. 3. Se espera en un futuro obtener de forma modelada los valores de concentración del  $^{137}\text{C}$

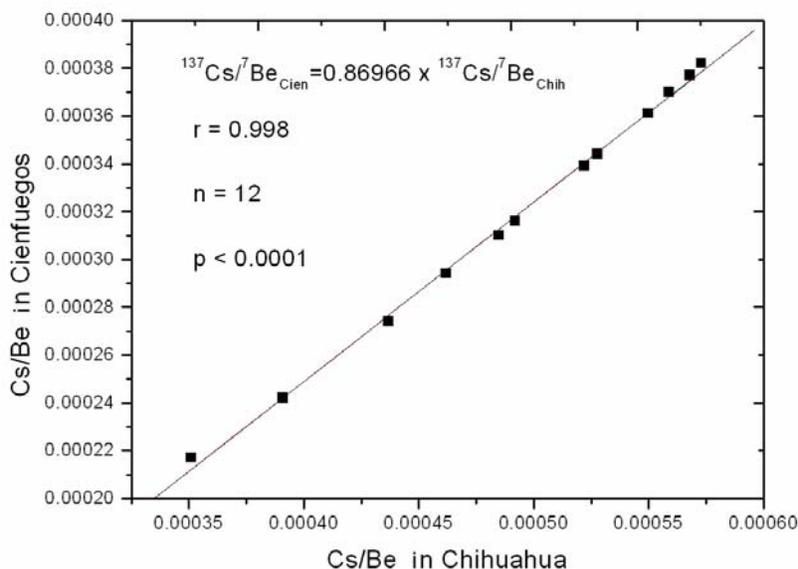


Figura 1. Correlación de las razones  $^{137}\text{Cs}/^7\text{Be}$  para Cienfuegos y Chihuahua por medio de la cual se obtiene la expresión (1).

Este gráfico se observa en la Fig. 1. La expresión obtenida es la siguiente:

$$\left( \frac{^{137}\text{Cs}}{^7\text{Be}} \right)_{\text{Cienfuegos}} = 0.86966 \times \left( \frac{^{137}\text{Cs}}{^7\text{Be}} \right)_{\text{Chihuahua}} \quad (1)$$

De esta expresión se puede estimar los contenidos de  $^{137}\text{Cs}$  que hubo en Chihuahua desde junio de

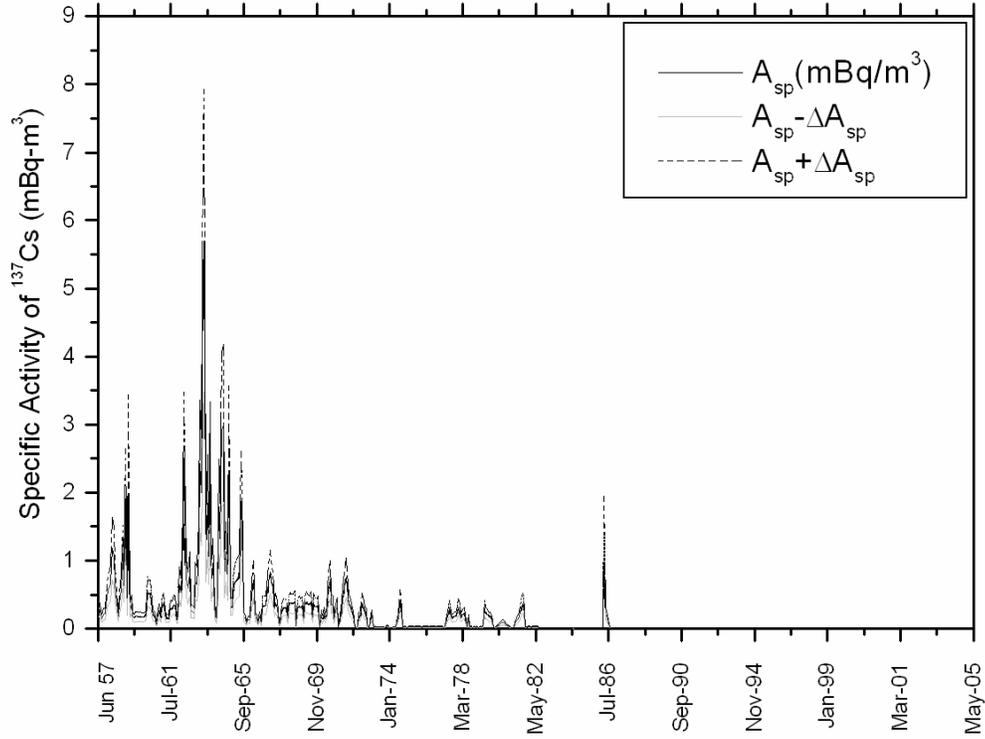


Figura 2. Actividades del  $^{137}\text{Cs}$  para la ciudad de Chihuahua estimados por el intervalo temporal desde junio de 1957 hasta mayo del 2005.

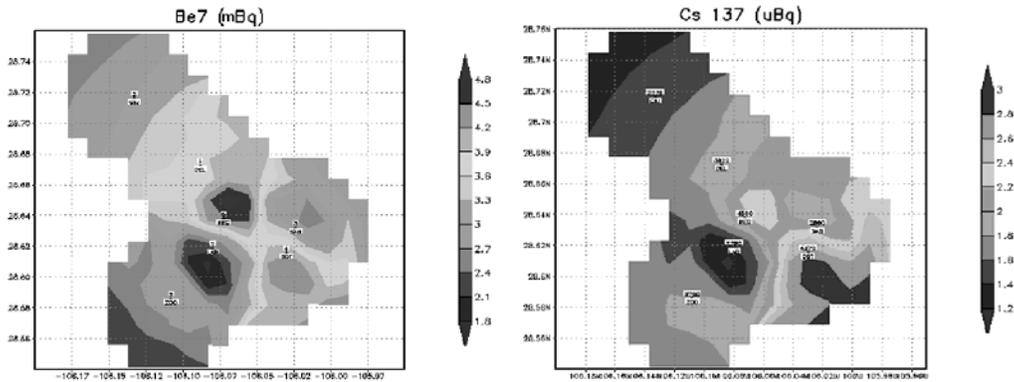


Figura 3. Valores de las concentraciones de  $^7\text{Be}$  en  $\text{mBq}\cdot\text{m}^{-3}$  y  $^{137}\text{Cs}$  en  $\mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  obtenidas mediante la simulación.

## Conclusiones

Después de demostrar que existe una correlación aceptable entre los valores de las concentraciones  $^{137}\text{Cs}$  y de  $^7\text{Be}$  en la Atmósfera de Chihuahua y de que sus valores actuales se deben, para el caso del  $^7\text{Be}$  al transporte vertical de aerosoles desde la capa alta troposfera o baja estratosfera hasta los niveles cercanos al suelo y la resuspensión por arrastre eólico o el transporte viales y para el caso del  $^{137}\text{Cs}$ , sólo de la resuspensión por arrastre eólico o el transporte viales, se llegó a una expresión sencilla que permitió estimar los valores de la concentración del  $^{137}\text{Cs}$  a partir de los valores de las concentraciones también estimadas desde otras ciudades ubicadas a otras latitudes como es el caso de la ciudad de Cienfuegos, cuyos datos también fueron estimados a partir de los obtenidos en la ciudad de Miami. El resultado superior de la concentración del  $^{137}\text{Cs}$  está acorde con el hecho de la ciudad de Chihuahua se encuentra en los 28° 37' mientras de la de Miami y Cienfuegos se encuentran a 25° 59' y 22° 03', respectivamente. Se espera en un futuro cercano obtener mediante el programa MCCM los valores de concentración para ambos isótopos de forma retrospectiva.

## Agradecimientos

Le agradecemos la extraordinaria ayuda brindada a los doctores Aron Jazilevich y Agustín García del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM por su aporte en la adquisición de experiencia para el manejo del programa Multiscale Climatic Chemistry Model.

## Bibliografía

- Baskaran, M., C. H., Coleman, P. H., Santchi., J. 1993. *Geophys. Res.* 98 No. D11, 20555.
- Baskaran, M., P. H., Santchi. 1993b. *Marine Chem.* 43 (95).
- Fogh, C.L., K., Roed, J., Andersson. 1999. *Environ Radioact.* 46 (67).
- Gaffney, J. and N. A. Marley, 2003. *Natural Radioactivity in Aerosols and What it Can tell Us.* Environmental Research Division Argonne National Laboratory.
- Hernández, C.M., H., Cartas-Aguila, M., Días-Asencio, A. M. Muñoz-Caravaca. 2004. Reconstruction of  $^{137}\text{Cs}$  Signal in Cuba using  $^7\text{Be}$  as Tracer of Vertical Transport Process in the Atmosphere, *Journal of Environmental Radioactivity* (75): 133-142.
- Sharon, A.F., J. V., Klump, P. W., Swarzensky, R. A., Mackenzie, K. D., Richards (2001). *Environ Sci. Technol* 35 (300).
- Todorovic, D., D., Popovic, D., Djuric. 1999. *Eviron. Intern.* 25 No.1, 59.
- UNSCEAR, 1993. *Ionizing radiation: Sources and Biological effects.* Report of the United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation to General Assembly, New York.