

# DEPÓSITO ATMOSFÉRICO DE BERILIO-7 EN SUELO

## ATMOSPHERIC DEPOSITION OF BERYLLIUM-7 IN SOIL

F. Lohaiza<sup>1</sup>, J. Juri Ayub<sup>1,5</sup>, H. Velasco<sup>1,4</sup>, M. Rizzotto<sup>1,4</sup>, D. Di Gregorio<sup>2,3</sup>, H. Huck<sup>2,3</sup>, D. Valladares<sup>1,4</sup>

(1) Grupo de Estudios Ambientales – Instituto de Matemática Aplicada San Luis – Universidad Nacional de San Luis/ CCT San Luis-CONICET. San Luis, Argentina.

(2) Departamento de Física, Comisión Nacional de Energía Atómica. Buenos Aires, Argentina.

(3) Escuela de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional de San Martín. Buenos Aires, Argentina.

(4) Departamento de Física, Universidad Nacional de San Luis. San Luis, Argentina.

(5) Departamento de Bioquímica y Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de San Luis. San Luis, Argentina  
*e-mail: anilohaiza@hotmail.com*

Recibido 30/03/2012; aprobado 29/11/2012

El Berilio-7 es un radionucleido natural ( $E_\gamma = 477.6$  keV;  $t_{1/2} = 53.3$  d) que se origina a partir de la interacción de los rayos cósmicos con la atmósfera terrestre, e ingresa al suelo principalmente por deposición húmeda (lluvias). Es ampliamente utilizado para la estimación de la redistribución del suelo (erosión/sedimentación), ocasionada por las precipitaciones en cortos periodos de tiempo. En este trabajo se analizó el contenido de  $^7\text{Be}$  en lluvia y en suelo, en una región semiárida de la provincia de San Luis, para el período húmedo (Noviembre a Abril). El contenido en lluvias de  $^7\text{Be}$  varió entre  $(0.7 \pm 0.3)$  Bq  $\text{l}^{-1}$  y  $(3.2 \pm 0.7)$  Bq  $\text{l}^{-1}$  y la magnitud de la precipitación entre 1 mm y 57 mm. El depósito atmosférico de  $^7\text{Be}$  mostró una alta correlación lineal con la magnitud de la precipitación. En base al contenido de  $^7\text{Be}$  en lluvias y al régimen de precipitaciones, se estimó la densidad superficial de actividad (DSA) de  $^7\text{Be}$  en suelo, para el período húmedo, utilizando un modelo simple de iteración. En suelo,  $^7\text{Be}$  fue detectado en el primer centímetro del perfil; y la concentración de actividad varió entre  $(83 \pm 17)$  Bq  $\text{kg}^{-1}$  y  $(168 \pm 26)$  Bq  $\text{kg}^{-1}$ , lo cual corresponde a un rango de DSA, entre  $(263 \pm 53)$  Bq  $\text{m}^{-2}$  y  $(488 \pm 98)$  Bq  $\text{m}^{-2}$ . Los valores experimentales de DSA obtenidos para cada mes fueron contrastados con los valores predichos, encontrándose un buen acuerdo entre ambos. Los resultados confirman que son las precipitaciones el principal factor que determina el contenido de  $^7\text{Be}$  en suelo, pudiendo el sitio evaluado ser utilizado como sitio de referencia a los efectos de la aplicación de la técnica de  $^7\text{Be}$  para documentar redistribución de suelo.

Palabras claves:  $^7\text{Be}$ , Depósito Atmosférico, Suelo, Densidad Superficial de Actividad.

Beryllium-7 is a natural radionuclide ( $E_\gamma = 477.6$  keV;  $t_{1/2} = 53.3$  d) originating from the interaction of cosmic rays with terrestrial atmosphere, entering to soil mainly by wet deposition (rain). It is widely used in estimating the soil redistribution (erosion/sedimentation) produced by rains in short periods of time. In this work  $^7\text{Be}$  content in rain and soil was analyzed, in a semiarid region of San Luis Province, for the wet period of the region (November to April). The  $^7\text{Be}$  content in rain ranged between  $(0.7 \pm 0.3)$  Bq  $\text{l}^{-1}$  and  $(3.2 \pm 0.7)$  Bq  $\text{l}^{-1}$  while the precipitation regime between 1 mm and 57 mm. The  $^7\text{Be}$  atmospheric deposit showed a high linear correlation with precipitation.  $^7\text{Be}$  areal activity density (AAD) in soil was estimated from  $^7\text{Be}$  content in rains and the precipitations regime, for the wet period, using a simple iteration model.  $^7\text{Be}$  in soil was measured for the first centimeter of soil profile; and the mass activity density ranged between  $(83 \pm 17)$  Bq  $\text{kg}^{-1}$  and  $(168 \pm 26)$  Bq  $\text{kg}^{-1}$ , which corresponds to a range of AAD between  $(263 \pm 53)$  Bq  $\text{m}^{-2}$  and  $(488 \pm 98)$  Bq  $\text{m}^{-2}$ . The experimental AAD values obtained for each month were compared with predicted values, finding a good agreement. The results confirm that precipitations are the main factor in determining  $^7\text{Be}$  soil content, thus making possible to use the studied site as a reference one in applying the  $^7\text{Be}$  technique to document soil redistribution.

Keywords:  $^7\text{Be}$ , Atmospheric Deposit, Soil, Areal Activity Density.

### I. INTRODUCCION

El Berilio-7 ( $^7\text{Be}$ ) es un radionucleido natural ( $E_\gamma = 477.6$  keV;  $t_{1/2} = 53.3$  d), que se produce en la alta atmósfera, por la interacción de radiación cósmica con núcleos de Nitrógeno y Oxígeno (Kaste *et al.*, 2002). Ingresa al suelo principalmente por deposición húmeda (lluvia, nieve), mientras que su ingreso por depósito seco (acción de la gravedad) es menor al 10% (Benitez-Nelson & Buesseler, 1999). Una vez depositado sobre el suelo es fuertemente retenido por el particulado del mismo, alcanzando su distribución en profundidad sólo los primeros centímetros del perfil (Wallbrink & Murray, 1996; Blake *et al.*, 1999).

La concentración atmosférica de  $^7\text{Be}$  no es uniforme, depende de la ubicación geográfica, la actividad solar, el

intercambio de masas de aire en la atmósfera y la eficiencia de la remoción desde la tropósfera (Kaste *et al.*, 2002). Diversos autores reportan variaciones del contenido de  $^7\text{Be}$  en lluvia con la magnitud e intensidad de la precipitación, la duración del evento, y el tiempo transcurrido entre eventos (Wallbrink & Murray, 1994; Caillet *et al.*, 2001, Kaste *et al.*, 2002; Ioannidou & Papastefanou, 2006). El régimen pluviométrico constituye, de este modo, una variable clave en el depósito atmosférico en suelo de este radionucleido.

En los últimos años y en forma creciente,  $^7\text{Be}$  ha sido utilizado en forma eficiente para evaluar redistribución de suelo (erosión/sedimentación) (Schuller *et al.*, 2006; Sepúlveda *et al.*, 2008; Walling *et al.*, 2009). La técnica se basa en la comparación del contenido total en suelo de

$^7\text{Be}$  entre un sitio que se supone erosionado y/o sedimentado (Sitio de Estudio) con el contenido en un sitio donde no se han producido redistribución de suelo (Sitio de Referencia). En este último sitio, la única pérdida de actividad se ha producido por decaimiento físico. Esta técnica, a diferencia de otras técnicas tradicionales, permite la evaluación de los procesos de erosión y sedimentación en forma conjunta, rápida y en amplias áreas.

Por lo que para aplicar esta técnica resulta necesario no sólo conocer el contenido y distribución vertical en el perfil de suelo de  $^7\text{Be}$  sino también caracterizar su ingreso desde atmósfera. En estudios previos, para la región central de San Luis, se evaluó el depósito húmedo de  $^7\text{Be}$ , desarrollándose un modelo que permite predecir el contenido esperable en suelo (Juri Ayub *et al.*, 2009). En este trabajo el contenido en suelo de  $^7\text{Be}$  fue medido experimentalmente para un período húmedo de la región (Noviembre a Abril), en forma mensual. Los valores experimentales obtenidos fueron contrastados con los predichos por el modelo mostrando muy buen acuerdo entre los mismos.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

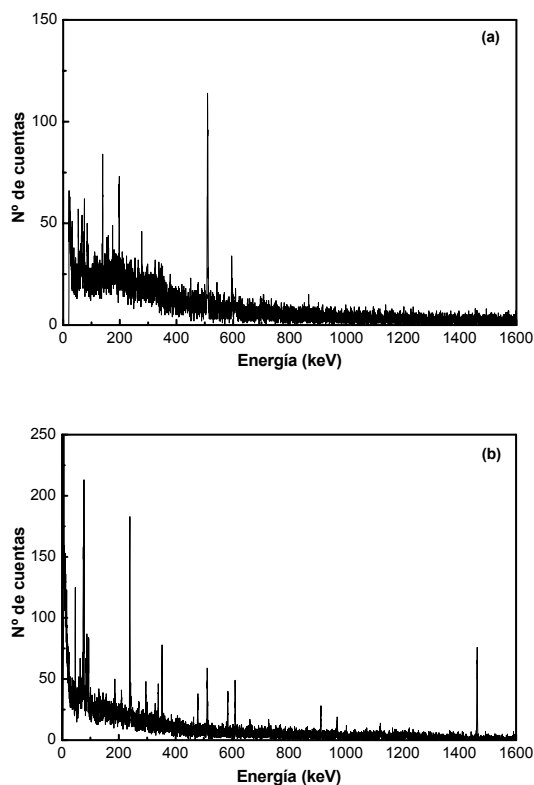
El sitio de estudio se encuentra ubicado en la provincia de San Luis (33°9' Sur; 66°16' Oeste). La región presenta un régimen estacional de lluvias, con un período seco (Mayo a Octubre) y uno húmedo (Noviembre a Abril). La precipitación media anual es de 600 a 800 mm. La temperatura media anual es de 17°C, mientras que en verano (Diciembre-Marzo), la temperatura media es de 23°C. Los suelos de la región son de textura franca (arena 47%, limo 40%, arcilla 13%), susceptibles de sufrir erosión hídrica (Peña Zubiate & d'Hiriart, 2007).

Las muestras de lluvia fueron obtenidas mediante la instalación de un colector, ubicado a 1 m sobre la superficie del terreno. Detalles de recolección, procesado y análisis de las muestras de lluvia pueden encontrarse en Juri Ayub *et al.*, 2009.

Las muestras de suelo fueron tomadas mensualmente, mediante la inserción de cilindros plásticos en el suelo hasta una profundidad de 5 cm y posterior extracción de los mismos. Las muestras fueron tomadas con periodicidad mensual, colectándose 4 perfiles de suelo en cada muestreo. En Laboratorio el perfil contenido en cada cilindro fue fraccionado en capas de 0.2 cm de espesor y las muestras correspondientes a una misma capa y a un mismo mes, fueron mezcladas formando una única muestra. Cada muestra así obtenida fue secada, tamizada (malla 0.2 cm) y una fracción homogénea analizada por espectrometría gamma.

Los análisis de espectrometría gamma fueron realizados en el Laboratorio TANDAR (Centro Atómico Constituyentes - CNEA). El equipamiento utilizado es un detector de Germanio hiperpuro de 40% de eficiencia de radiación gamma de energía mayores que 80 keV, con estaciones de medición de ultra bajo fondo. Para el conteo gamma se usaron 400 ml de cada muestra de lluvia, y 12 g de cada muestra de suelo. El tiempo de conteo para cada muestra fue de, aproximadamente, 1 día. Los datos obtenidos por el detector fueron

acumulados en un analizador multicanal de 8K ADC (Convertidor Analógico a Digital), conectado a una computadora personal. La Figura 1 muestra el espectro de conteo gamma correspondiente a una muestra de lluvia (a) y de suelo (b).



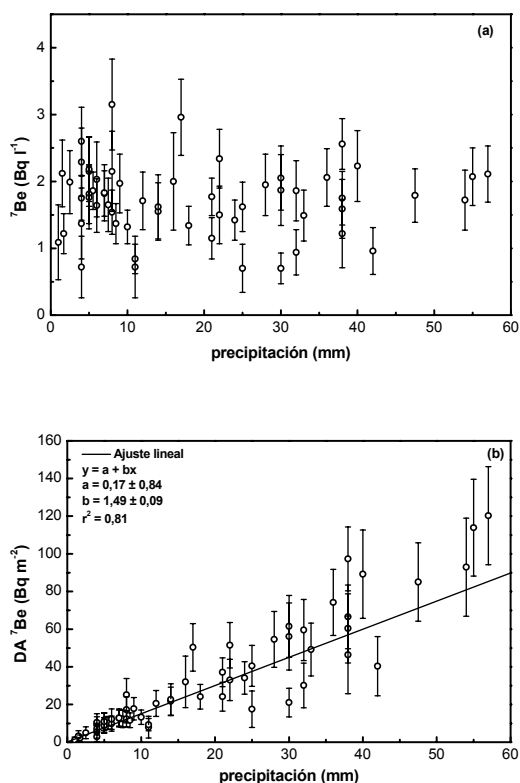
**Figura 1.** Espectro gamma correspondiente a una muestra de lluvia (a) y de suelo (b).

## III. RESULTADOS

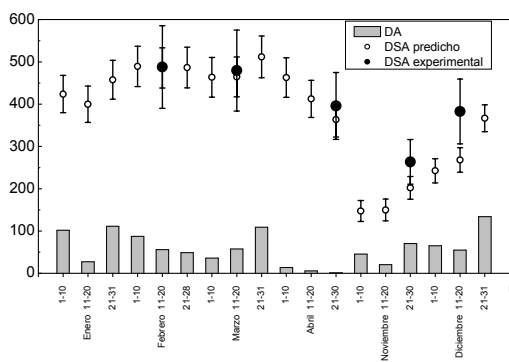
La figura 2a muestra el contenido de  $^7\text{Be}$  en lluvia para 58 eventos individuales de precipitación. La concentración de actividad de  $^7\text{Be}$  varió entre  $(0.7 \pm 0.3) \text{ Bq l}^{-1}$  y  $(3.2 \pm 0.7) \text{ Bq l}^{-1}$ , la magnitud de la precipitación entre 1 mm y 57 mm, mientras que el depósito atmosférico (DA) varió entre  $(1.1 \pm 1.7) \text{ Bq m}^{-2}$  y  $(120.3 \pm 26.1) \text{ Bq m}^{-2}$ . El contenido de  $^7\text{Be}$  en lluvia no mostró dependencia con la magnitud de la precipitación, la intensidad, el tiempo entre eventos ni la duración del mismo. El depósito atmosférico de  $^7\text{Be}$  ( $\text{Bq m}^{-2}$ ) muestra una alta correlación lineal con la magnitud de la precipitación (Fig. 2b). Estimándose un flujo anual de  $^7\text{Be}$  de  $(1140 \pm 120) \text{ Bq m}^{-2}$ . Utilizando los parámetros del ajuste lineal y el régimen de precipitaciones, la densidad superficial de actividad en suelo (DSA,  $\text{Bq m}^{-2}$ ) fue estimada, para el periodo anual, utilizando un modelo simple de iteración. Detalles del mismo pueden encontrarse en Juri Ayub *et al.* (2009). Este modelo asume que todo el  $^7\text{Be}$  depositado desde atmósfera es retenido en suelo y que la concentración de  $^7\text{Be}$  en lluvia permanece constante.

En suelo  $^7\text{Be}$  se encontró presente sólo en el primer centímetro del mismo y la concentración de actividad varió entre  $(83 \pm 17) \text{ Bq kg}^{-1}$  y  $(168 \pm 26) \text{ Bq kg}^{-1}$ ; y

DSA varió entre  $(263 \pm 53)$  Bq m<sup>-2</sup> y  $(488 \pm 98)$  Bq m<sup>-2</sup>. La concentración de actividad de <sup>7</sup>Be muestra un decrecimiento exponencial con el incremento de la profundidad, este perfil de distribución es típico de suelos no perturbados (Sitio de Referencia).



**Figura 2.** Contenido en lluvia (a) y depósito atmosférico (b) de <sup>7</sup>Be en función de la magnitud de la precipitación. Se muestra el ajuste a una recta de DA y los parámetros del ajuste (b). Extraído de Juri Ayub et al., 2009.



**Figura 3.** Depósito atmosférico (DA), contenido esperable en suelo de <sup>7</sup>Be (DSA) y datos experimentales de <sup>7</sup>Be (DSA) en suelo, para períodos de 10 días a lo largo de la estación húmeda.

La figura 3 muestra el depósito atmosférico (DA, Bq m<sup>-2</sup>) de <sup>7</sup>Be, para períodos de 10 días, esperable según el régimen de precipitaciones (barras) y el DSA (Bq m<sup>-2</sup>) esperable en suelo, asumiendo que la única pérdida de

actividad se produce por decaimiento físico (círculos vacíos). Los valores experimentales de DSA efectivamente medidos en suelo han sido superpuestos (círculos llenos). Para el período analizado se encuentra un muy buen acuerdo entre los valores experimentales y teóricos de DSA.

Esto indica que serían las precipitaciones el principal factor que determina el contenido de <sup>7</sup>Be en suelo y que para la región, la densidad superficial de actividad total del perfil puede estimarse a través del volumen de precipitación, cuando no se produce ni erosión ni sedimentación de suelo.

#### IV. CONCLUSIONES

La densidad superficial de actividad en suelo de <sup>7</sup>Be, para el período analizado, varió siguiendo el régimen de lluvias, pudiendo ser estimado a través del mismo.

Los resultados obtenidos, indican que el sitio analizado podría ser utilizado como Sitio de Referencia para la aplicación de la técnica de <sup>7</sup>Be en la estimación de redistribución de suelo en la región.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CONICET, la Universidad Nacional de San Luis y la Fundación Bunge y Born por el financiamiento recibido.

#### REFERENCIAS

- Benitez – Nelson, C.R. and Buesseler, K.O. 1999. Phosphorus 32, phosphorus 37, beryllium 7, and lead 210. Atmospheric fluxes and utility in tracing stratosphere/troposphere exchange. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 104: 11745 – 11754.
- Blake, W.H., Walling, D.E. and He, Q. 1999. Fallout beryllium-7 as a tracer in soil erosion investigations. *Applied Radiation and Isotopes*. Vol. 51: 599-605.
- Caillet, S., Arpagaus, P., Monna, F. and Dominik, J. 2001. Factors controlling <sup>7</sup>Be and <sup>210</sup>Pb atmospheric deposition as revealed by sampling individual rain events in the region of Geneva, Switzerland. *Journal of Environmental Radioactivity*, 53: 241-256.
- Ioannidou, A. and Papastefanou, C. 2006. Precipitation scavenging of <sup>7</sup>Be and <sup>137</sup>Cs radionuclides in air. *Journal of Environmental Radioactivity*, 85: 121-136.
- Kaste, J.M., Norton, S.A. and Hess, C. 2002. Environmental chemistry of beryllium-7. *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, 50: 271-289.
- Juri Ayub, J., Di Gregorio, D., Velasco, H. Huck, H., Rizzotto, M.G. and Lohaiza, F. 2009. Short-term seasonal variability in <sup>7</sup>Be wet deposition in a semiarid ecosystem of central Argentina. *Journal of Environmental Radioactivity*, 100: 977 – 981
- Peña Zubiarte, C.A. y d'Hiriart, A. 2007. Carta de suelos de la República Argentina: Hoja San Luis. Provincia de San Luis. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 148 pp.
- Schuller, P., Iroumé, A., Walling, D.E., Mancilla, H.B., Castillo, A. and Trumper, R.E. 2006. Use of Beryllium-7 to document soil redistribution

following Forest Harvest Operations. *Journal Environ. Qual.* 35: 1756-1763.

9. Sepulveda, A., Schuller, P., Walling, D.E. and Castillo, A. 2008. Use of  $^7\text{Be}$  to document soil erosion associated with a short period of extreme rainfall. *Journal of Environmental Radioactivity*, 99: 35-49.
10. Wallbrink, P.J. and Murray, A.S. 1996. Distribution of  $^7\text{Be}$  in soil under different surface cover conditions and its potential for describing soil redistribution processes. *Water Resources Research*. Vol. 32: 467 - 476.
11. Wallbrink, P.J. and Murray, A.S. 1994. Fallout of  $^7\text{Be}$  in South Eastern Australia. *Journal Environmental Radioactivity*. Vol 25: 213 – 228.
12. Walling, D.E., Schuller, P., Zhang, Y. and Iroumé, A. 2009. Extending the timescale for using beryllium 7 measurements to document soil redistribution by erosion. *Water Resources Research*. Vol. 45, W02418, doi: 10.1029/2008WR007143.