

## **Berilio-7 en *Usnea antarctica* Du Rietz de la Estación Científica Antártica Machu Picchu**

José Osóres\*, Susana Gonzáles

Laboratorio de Radioecología, Dirección de Servicios, Instituto Peruano de Energía Nuclear.  
Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

### **Resumen**

Concentraciones de Be-7 en *Usnea antarctica* (líquen) colectada durante el verano austral del año 2013, en la Estación Científica Antártica Peruana "Machu Picchu", fueron determinadas por espectrometría gamma de alta resolución, obteniendo valores entre 366,5 y 515,1 Becquerelios por kilogramo de peso seco. El análisis de varianza no muestra diferencia significativa de las concentraciones de Be-7 entre las áreas de muestreo ubicadas a diferentes alturas. El valor promedio de Be-7 para el verano austral 2013 es significativamente superior para otros años de muestreo excepto para 1996.

### **Beryllium-7 in *Usnea antarctica* Du Rietz from the Machu Picchu Antarctic Research Station**

#### **Abstract**

Concentrations of Be-7 in *Usnea antarctica* (lichen) collected during the austral summer of 2013 in the Antarctic Scientific Station "Machu Picchu" were determined by high resolution gamma spectrometry, obtaining values between 366.5 and 515.1 Becquerels per kilogram dry weight. The analysis of variance shows no significant difference in the concentrations of Be-7 between sampling areas located at different heights. The average value of Be-7 for 2013 is significantly higher to other sampling years, except for 1996.

#### **1. Introducción**

El Berilio-7 ( $^7\text{Be}$ ) es un radionucleído 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 [1]. Ingresa al medio ambiente principalmente por deposición húmeda (lluvia, nieve), mientras que su ingreso por depósito seco (acción de la gravedad) es menor al 10 % [2].

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. 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 [3, 4, 5, 6].

Una vez que el  $^7\text{Be}$  llega a la superficie del planeta no se dispersa en forma homogénea, sino que tiende a fijarse principalmente en plantas superficiales o acuáticas y en menor grado en el suelo superficial. En la actualidad este radionucleído se está utilizando con

mucha frecuencia para estudios del cambio climático en diversos países [7].

La literatura de líquenes como bioindicadores y bioacumuladores de contaminación atmosférica se ha incrementado mucho en los últimos años. Las primeras observaciones sobre la sensibilidad de los líquenes a la contaminación aérea datan del siglo pasado, aunque la mayoría de las investigaciones en este campo son recientes.

Los líquenes poseen varias características de un óptimo indicador biológico:

- a) Carecen de estructuras protectoras o selectivas con respecto a las sustancias presentes en el ambiente.
- b) Carecen de mecanismos de absorción activa desde el sustrato, la mayoría de los nutrientes utilizados por los líquenes derivan de la deposición atmosférica.
- c) Son bastante sensibles a ciertos contaminantes gaseosos, tales como el dióxido de azufre y el fluoruro de hidrógeno, y al mismo tiempo ellos tienden a acumular sin aparente daño, altas concentraciones de otros

\* Correspondencia autor: josores@ipen.gob.pe

- contaminantes (por ejemplo varios elementos minerales).
- d) Los líquenes, contrario a las plantas superiores no tienen mecanismos de excreción de sustancias.
  - e) Los líquenes no contienen cantidades considerables de celulosa o lignina, la mayoría de los talos liquénicos están compuestos de hifas fúngicas con una pared delgada de quitina.
  - f) Los líquenes son bastante sensibles, aun a cambios mínimos del pH del sustrato.
  - g) Los líquenes son comunes a una gran variedad de sustratos en todas las áreas donde la contaminación no llegue a niveles extremos.

El objetivo del informe es presentar los niveles de concentración de  $^7\text{Be}$  en líquenes

antárticos colectados durante el verano antártico 2013 en la Estación Científica Antártica “Machu Picchu”, ubicada en la Bahía Almirantazgo de la Isla Rey Jorge.

## 2. Material y Método

Muestras de líquenes antárticos colectados por personal científico del Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, durante febrero del año 2013 en la zona de la Estación Científica Antártica “Machu Picchu”, fueron proporcionadas al Laboratorio de Radioecología para los análisis correspondientes.

El material fue recibido en bolsas de papel debidamente identificadas. Los puntos de muestreo se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Áreas de muestreo de líquenes en la Estación Antártica Peruana 2013.

Área	Coordenadas geográficas		Fecha de muestreo	Altitud (msnm)
1	-62,09344444	-58,4692500	19 de febrero	21
2	-62,09427778	-58,4738056	19 de febrero	30
3	-62,09185700	-58,4756810	22 de febrero	3

Fuente: Biol. Ángel Ramírez (UNMSM).

Con la finalidad de identificar la presencia de  $^7\text{Be}$  en el nivel energético de 477 keV, las muestras fueron debidamente acondicionadas y analizadas con un sistema de espectrometría gamma de alta resolución y bajo fondo, con un detector de germanio hiperpuro de 35 % de eficiencia relativa. Los tiempos de recolección de datos fueron de 80000 a 300000 segundos por cada muestra [8].

La curva de eficiencia instrumental se determinó con el software *Genie 2000* [9] para cada una de las muestras en función de su densidad y geometría de ensayo.

La actividad de  $^7\text{Be}$  en las muestras de líquenes se determinó mediante la siguiente fórmula [10].

$$A = \frac{S}{E * \gamma * T_1 * K_c * K_w * M}$$

Dónde:

E: Eficiencia instrumental

S: Área Neta calculada de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$S = (N_m - \frac{T_1}{T_f} N_f)$$

$N_m$ : Área Neta del material de ensayo

$N_f$ : Área Neta del fondo

$T_1$ : Tiempo de recuento de la muestra (s)

$T_f$ : Tiempo de recuento del fondo (s)

A: Actividad del material de ensayo (Bq/kg)

$\gamma$ : Fracción de desintegración gamma

$K_c$ : Factor de corrección por decaimiento durante el recuento ( $K_c = 1$ )

$K_w$ : Factor de corrección por decaimiento del material de ensayo

M: Masa de la muestra ensayada (kg)

$t_w$ : Tiempo de decaimiento del material de ensayo

$$K_w = e^{-\frac{\ln(2)t_w}{T_{1/2}}}$$

Los valores de  $^7\text{Be}$  de cada zona de muestreo fueron evaluados estadísticamente con un análisis de varianza mediante el software Excel, con la finalidad de identificar posibles diferencias en las concentraciones de este radionucleído.

Los resultados finales fueron comparados con los valores registrados en campañas anteriores realizadas por el IPEN en la zona

de influencia de la Estación Científica Antártica Machu Picchu [11,12].

### 3. Resultados y Discusión

En la Figura 1 se muestra un espectro gamma obtenido del análisis de líquenes antárticos en donde se puede observar la presencia del nivel energético (fotopeak) correspondiente al  $^7\text{Be}$  (477,6 keV).

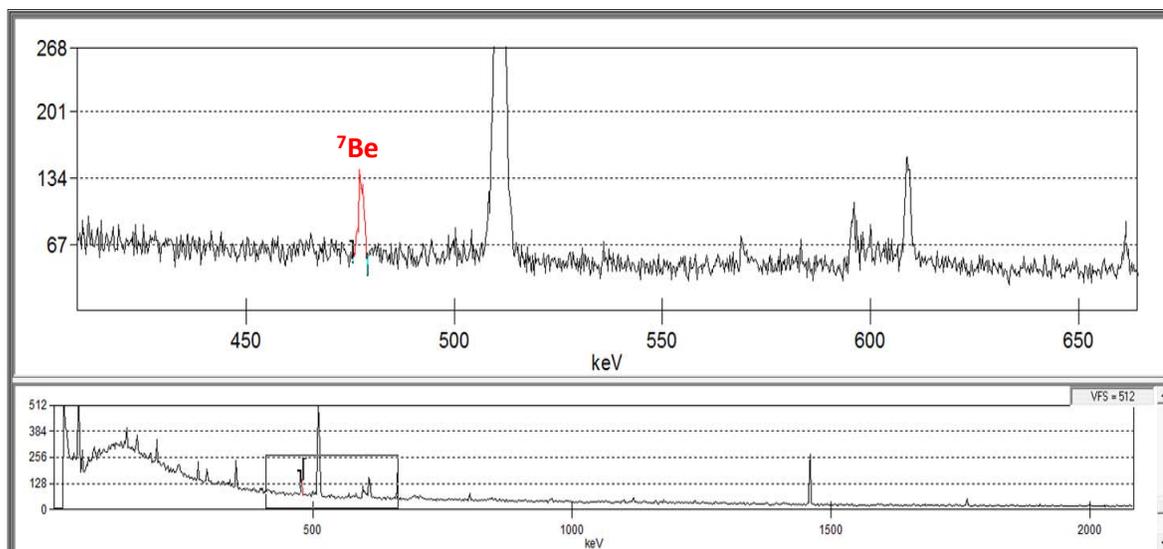


Figura 1. Espectro gamma de una muestra de líquenes antárticos.

Tabla 2. Actividad derivada de  $^7\text{Be}$  en *Usnea antarctica* Du Rietz por área de muestreo.

Área de Muestreo	Actividad derivada de $^7\text{Be}$ (Bq/kg)	Variabilidad (%)
1	$387,80 \pm 49,36$	12,73%
2	$366,45 \pm 7,71$	2,10%
3	$515,13 \pm 112,48$	21,83%

En la Tabla 2 se observa que los valores de actividad derivada de  $^7\text{Be}$  presentan rangos entre 366,5 a 515,1 Bequerelios por kilogramo (Bq/kg) de peso fresco, con una media ponderada general de  $423,13 \pm 80,39$  Bq/kg para el año 2013.

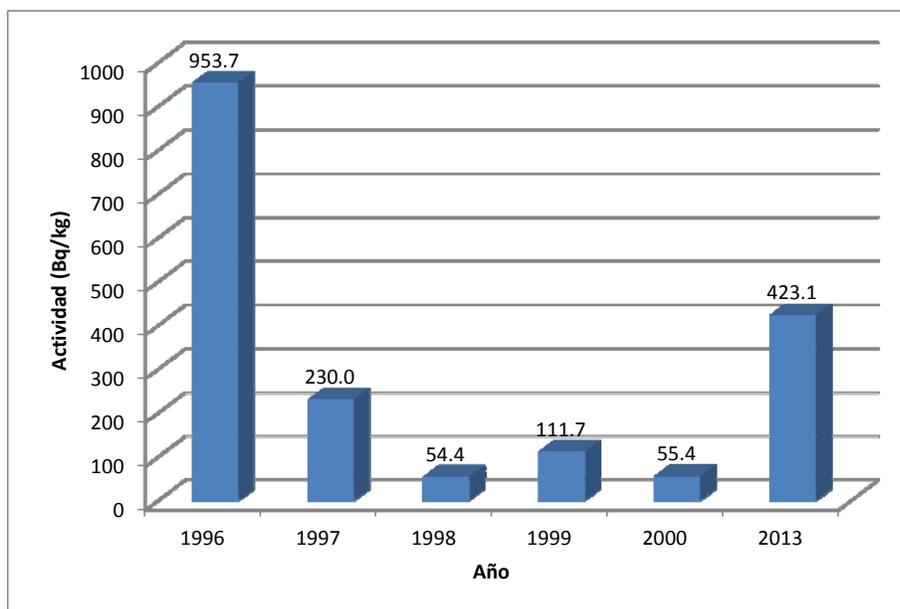
El análisis de varianza no presentó diferencias estadísticas entre las tres áreas de muestreo, a pesar de que en el área 3 se observa un ligero incremento de la actividad derivada promedio (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis de varianza entre zonas de muestreo.

Fuentes de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	Probabilidad	F crítico
Entre áreas	2	38543,8225	19271,91125	2,3823	0,1876	5,7861
Dentro de áreas	5	40447,8125	8089,5625			

Según los registros de monitoreo de  $^7\text{Be}$  en líquenes dentro del área de influencia de la Estación Científica Antártica Machu Picchu llevados a cabo por el IPEN entre los años 1996 al 2000, se observa que la actividad

derivada de este radionucleído tiende a incrementarse sin llegar a alcanzar aún a los valores registrados en 1996 (Figura 3).



**Figura 2.** Actividad derivada de  $^7\text{Be}$  en *Usnea antarctica* Du Rietz (1996-2013).

Los valores de concentración de actividad derivada de  $^7\text{Be}$  en las diferentes muestras de líquenes no presentan variación en función de las áreas de muestreo dentro de la zona de influencia de la Estación Científica Antártica Machu Picchu, por lo que se considera como una distribución uniforme de este radionucleído en la atmósfera de la región. Sin embargo, se ha podido apreciar que estos valores vienen incrementándose respecto a la década pasada sin llegar al valor máximo observado en el año 1996, las causas probables de este incremento requieren de la contribución de otras variables ambientales como las condiciones meteorológicas del lugar, niveles de radiación cósmica, niveles de deposición húmeda y seca, factores de enriquecimiento ambientales y otras, de modo tal que mediante modelos matemáticos se pueda interpretar y predecir el comportamiento ambiental en la zona de estudio y poder extrapolarla a la región comprendida por la Bahía del Almirantazgo.

#### 4. Conclusiones

Se verifica la presencia de  $^7\text{Be}$  en líquenes antárticos con un incremento en su niveles de concentración, presentando una actividad derivada promedio de  $423,13 \pm 80,39$  Bq/kg para el año 2013. Debido a la buena capacidad de incorporación de  $^7\text{Be}$  en líquenes antárticos, se pueden utilizar estos

organismos como biomonitores para evaluar la actividad cosmogénica y además utilizarlos como herramientas en la evaluación de los procesos geomorfológicos y sedimentarios de la región.

#### 5. Agradecimiento

Los autores desean expresar su más profundo agradecimiento al biólogo-liquenólogo Ángel Ramírez, del Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, del laboratorio de Florística, del Departamento de Dicotiledóneas, por haber determinado y colectado muestras de *Usnea antarctica* Du Rietz, bajo la autorización 001-2013 del MRE.

#### 6. Referencias

- [1] Kaste JM, Norton SA & Hess C. Environmental chemistry of beryllium-7. *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*. 2002; 50:271-289.
- [2] Benitez-Nelson CR & Buesseler KO. Phosphorus 32, phosphorus 37, beryllium7 and lead 210. Atmospheric fluxes and utility in tracing stratosphere/troposphere exchange. *Journal of Geophysical Research*. 1999; 104:11745-11754.
- [3] Wallbrink PJ & Murray AS. Fallout of  $^7\text{Be}$  in South Eastern Australia. *Journal of Environmental Radioactivity*. 1994; 25:213-228.

- [4] Caillet S, Arpagaus P, Monna F & Dominik J. Factors controlling  $^7\text{Be}$  and  $^{210}\text{Pb}$  atmospheric deposition as revealed by sampling individual rain events in the region of Geneva, Switzerland. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2001; 53:241-256.
- [5] Ioannidou A, Papastefanou C. Precipitation scavenging of  $^7\text{Be}$  and  $^{137}\text{Cs}$  radionuclides in air. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2006; 85: 121-136.
- [6] Lohaiza F, Juri Ayub J, Velasco H, Rizzotto M, Di Gregorio D, Huck H, Valladares D. Depósito Atmosférico de Berilio-7 en Suelo. *Anales AFA*, Montevideo 2011; 23(1):157-160.
- [7] Liu J, Starovoitova VN, Wells DP. Long-term variations in the surface air  $^7\text{Be}$  concentration and climatic changes. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2013; 116: 42-47.
- [8] International Atomic Energy Agency. Measurement of radionuclides in Food and the Environment. A Guidebook. Technical Report Series No. 295. Vienna: Austria; 1989.
- [9] Canberra Industries Inc. Genie™ 2000 Spectroscopy Software – Customization Tools V3.0.
- [10] Osore JM. Caracterización radiológica de una muestra de *Ipomoea batata* procedente de Chiclayo. Documento Técnico DT13-019-JOR. Instituto Peruano de Energía Nuclear. Lima, Perú. 2013. [Informe Interno].
- [11] Gonzales S, Osore JM, Jara R. Environmental Radioactivity at Machu Picchu Scientific Station. *Korean Journal of Polar Research*. 1996; 9(1):71-74.
- [12] Gonzales S, Osore JM, Martínez J, López E, Jara R. Radiactividad Ambiental en la Estación Científica Antártica Peruana Machu Picchu 1999-2000. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2001. Lima: Perú; 2002. p. 338-341.