

# Uso del modelo Conversión de Mediciones de Inventarios de Radionúclidos Ambientales (Be-7) para estimación de tasas de erosión y redistribución de suelos

Gerardo Maghella\*, Rubén Rojas, Mónica Vivanco

Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

## Resumen

El presente Informe muestra el uso de los modelos de conversión de mediciones de inventarios del Be-7 para estimar tasas de erosión y redistribución de suelos. Los datos analizados corresponden a un ejercicio llevado a cabo durante el Curso de Estimación de Erosión en Suelos por Radionúclidos de Precipitación (Be-7) realizado en Chile. Para ello se ha considerado el modelo de conversión a partir del estudio del sitio de referencia. Los resultados obtenidos demuestran que el modelo de conversión del Be-7 aplicado a estudios de erosión es muy útil para establecer procesos de redistribución de suelos previos a labores de labranza, así como también que éste presenta una disminución exponencial de su concentración másica mientras se distribuye dentro del suelo. Para el caso evaluado se obtuvo que a una profundidad másica de 2,17 mm se encuentra concentrada el 63% de la actividad del Be-7.

## Abstract

This report shows the use of conversion model for Be-7 inventories measurements, for estimating erosion rates and soil redistribution. Analyzed data corresponds to one exercise carried out during Fallout Radionuclide (Be-7) Soil Erosion Estimation Course performed in Chile. For that purpose, a conversion model has been considered since reference site study. Results obtained show that Be-7 conversion model applied to erosion studies is very useful to establish soil redistribution process previous to tilling works, just as it presents an exponential decrease of its mass concentration where it distributes inside the soil. For the case studied, 63% Be-7 activity is concentrated at 2,17 mm mass depth.

## 1. Introducción

El uso de mediciones de radionúclidos ambientales para estimar tasas de erosión y deposición está fundamentado en la comparación de inventarios (o DSA; Densidad Superficial de Actividad) en los puntos de muestreo individuales con un inventario de referencia, representando el ingreso de precipitación local y por lo tanto el inventario a ser esperado en un depósito que no experimente ni erosión ni deposición. Un inventario medido para un punto de muestreo individual menor que el valor de referencia es indicativo de erosión, mientras que un inventario más grande que el valor de referencia es indicador de deposición.

Aunque tales comparaciones de inventarios medidos con el valor de referencia local proveen información cualitativa útil en la distribución espacial de la erosión y deposición en el paisaje y en las magnitudes relativas de los valores involucrados, se

requieren los estimados cuantitativos de tasas de erosión y deposición en casi todos los casos. La derivación de los estimados cuantitativos es fuertemente dependiente de la existencia de medios confiables de conversión de la magnitud del inventario, medido en un punto de muestreo específico, relacionado con el inventario de referencia local a un estimado de la tasa de erosión o de deposición en ese punto.

## 2. Desarrollo

El radionúclido Be-7 tiene un tiempo de vida más corto que el Cs-137, por lo tanto provee de un trazador valioso para examinar procesos de redistribución de suelos a corto plazo. Su profundidad de penetración en el suelo es superficial (menos de 2 cm en la mayoría de los casos), dado que su tiempo de vida corta significaría que habría tiempo limitado para la difusión y migración hacia

---

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

abajo. Las operaciones de labranza entre la deposición de Be-7 y el tiempo de muestreo, invalidarían su uso porque éstas presentarían cambios dentro de la capa del arado y harían que la concentración en el suelo fuese muy baja para ser detectable. La profundidad de distribución del Be-7 encontrada por diversos estudios realizados en tierras agrícolas son probablemente similares a los perfiles asociados con el Cs-137 dentro de depósitos no cultivados, pero con una profundidad de distribución más restringida y por lo tanto un factor de forma del perfil mucho más bajo.

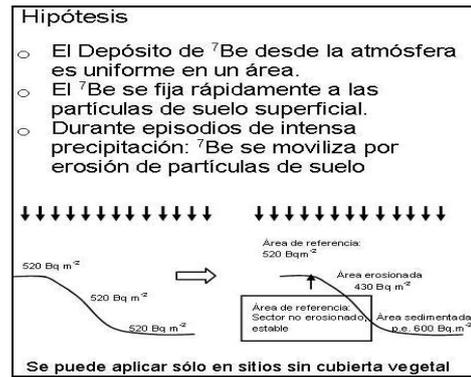
Entre los supuestos para la aplicación del Modelo de Conversión para mediciones de Be-7 tenemos:

- a. La deposición húmeda de la precipitación es la fuente dominante.
- b. Afinidad fuerte con partículas del suelo, especialmente las partículas finas.
- c. Disminución exponencial de la concentración másica (DMA) y del inventario con la profundidad bajo un perfil de suelo no removido y una distribución homogenizada dentro de la capa de arado de los depósitos cultivados.
- d. La distribución espacial uniforme de inventarios parecida en depósitos no arados (no erosionados).
- e. Una vez absorbido por las partículas del suelo, el movimiento subsecuente ocurrirá solo en asociación con partículas de suelo.

*2.1 Uso de modelos de conversión de mediciones de Be-7 en montos de redistribución de suelo*

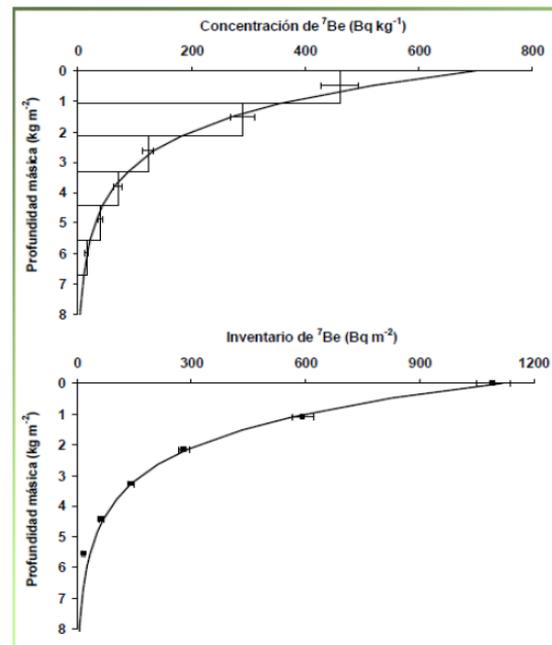
Se basan en lo siguiente:

- La intensificación de actividad forestal, lo que incrementa el impacto destructivo de la erosión sobre la calidad del suelo y aguas.
- Adopción de prácticas de manejo como el arrumado de desechos forestales siguiendo curvas de nivel.
- La información sobre eficiencia de esta práctica en el control de procesos de redistribución de suelo es escasa.
- La evaluación de la eficiencia nos da información sobre montos de erosión y sedimentación y su distribución espacial.



**Figura 1.** Hipótesis para aplicación de modelo de conversión de mediciones para de Be-7.

El método de Be-7 tiene restricciones debido a que la distribución inicial (superficial y en profundidad), inmediatamente antes del evento erosivo a ser estudiado debe ser uniforme, porque se basa en la comparación de la Distribución Superficial de Área (DSA), en un punto en estudio con la DSA de un punto situado en un sitio de referencia.



**Figura 2.** Gráfica del inventario versus profundidad másica.

Las características del sitio de referencia para el estudio deben ser las siguientes:

- Área planas
- Cercanas al sitio de estudio
- Situadas a altura
- No afectas a erosión ni sedimentación
- Con igual intervención que el área a analizar
- Sin cubierta herbácea

Mientras que los sitios a analizar deben tener las siguientes características:

- Cercanas al sitio de referencia.
- Sin cubierta herbácea.
- Libre de vegetación.
- Afectas a erosión y sedimentación.
- Con igual intervención que el sitio de referencia.

Para estos estudios, es preferible que se realicen antes de que se presenten las lluvias.

### 2.2 Caso de Estudio

A partir de mediciones de Be-7 en muestras de suelo colectadas en intervalos de profundidad en un sitio de referencia, se ha determinado la profundidad másica de relajación del Be-7 en el suelo y su densidad superficial de referencia ( $A_{ref\ total}$ ). La sección transversal de los cilindros de recolección de cada muestra fue de  $0,0700661\ m^2$ .

**Tabla 1.** Datos obtenidos por la medición de suelos.

Profundidad de intervalo (mm)	Masa total muestra colectada (g)	Masa muestra medida (g)	Actividad de muestra medida (Bq)
0 – 2	84,97	62,88	13,576
2 – 4	84,49	73,84	7,006
4 – 6	87,00	75,63	2,737
6 – 8	88,38	74,61	0,987
8 - 10	90,12	78,17	0,075

### 2.3 Cálculos

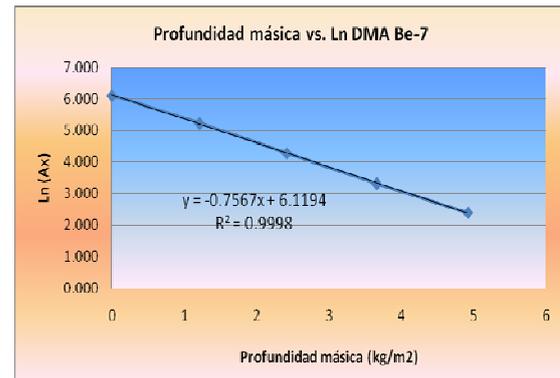
A fin de obtener la curva que indique la mayor concentración de Be-7 a una profundidad dada, utilizamos los datos de la Tabla 1, la misma que se obtiene de:

- 1) La profundidad másica acumulada con la distribución de concentración másica y,
- 2) A partir de los valores de los coeficientes de la recta de regresión lineal obtenida en el punto 1), con las ecuaciones establecidas para el cálculo de la actividad a cualquier profundidad.

Se presentan a continuación la tabla y las gráficas correspondientes.

**Tabla 2.** Profundidad Másica acumulada versus Ln DMA Be-7 (Ax).

Ln DMA Be-7 (Ax)	Profundidad másica (kg/m <sup>2</sup> )
6,105	0
5,231	1,213
4,287	2,419
3,325	3,660
2,408	4,922



**Figura 3.** Gráfica de la Profundidad Másica versus Ln de la Distribución de la Concentración Másica (DMA).

*Cálculo de la regresión lineal:*

$$Y = Ln (Ax)$$

$$X = Prof. Másica Acumulativa$$

Con las siguientes ecuaciones:

$$A(x) = C(o). ho. e^{-x/ho}$$

$$A_{ref} = C(o). ho$$

$$C(o) = A_{ref} / ho \Rightarrow C(x) = A_{ref}. e^{(-x/ho)}$$

Donde:

$$A(x) = Distribución Superficial de Área (DSA) en punto de muestreo, Bq/m^2$$

$$A_{ref} = Distribución Superficial de Área en el punto de referencia, Bq/m^2$$

$$C(o) = Actividad inicial, Bq/m^2$$

$$h(o) = Profundidad másica, kg/m^2$$

De la Ec. de ajuste de la gráfica se obtiene:

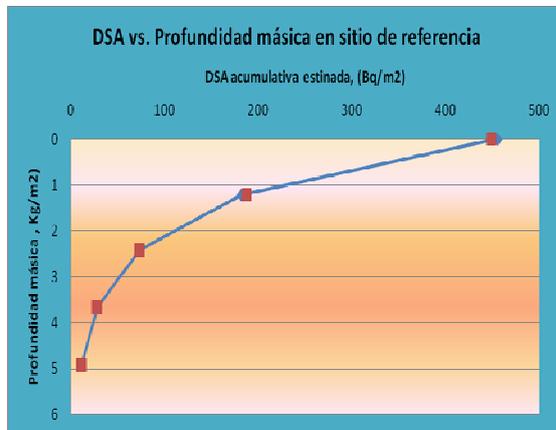
- *Intercepto:* a: 6.119
- *Pendiente:* b: -0.757
- *Coef. de Correlación r:* -0.99989

que nos dan los siguientes parámetros:

$$A_{ref.} = e^a = e^{6.119} = 454.83 \text{ Bq/m}^2$$

$$h_o = -1/b = -1/(-0.757) = 1.32128 \text{ kg/m}^2$$

de donde obtenemos la gráfica de la Actividad a cualquier profundidad.



**Figura 4.** Gráfica de la profundidad másica versus DSA acumulativa estimada en el sitio de referencia.

*Ec. Resultante:*

$$A(x) = 454.83 \cdot e^{(-x/1.321)} \Rightarrow$$

$$C(x) = 454.83 \cdot e^{(-x/1.321)} / 1.321$$

Significado de  $h_o$ :

Se toma el valor de  $h_o$ , por encima de los 2/3 (63%) del  $A_{ref.}$

$$\Rightarrow h_o = 1.3212 \text{ kg/m}^2$$

Cálculo de la Densidad en la primera capa:

$$\rho = \text{masa (kg)} / \text{Area sección transversal profund. de intervalo}$$

$$\rho = 84.97 / 1000 / (0.0700661 * 0.002) = 606.36 \text{ kg/m}^3$$

Entonces:

$$h' = h_o / \rho = 1.3212 \text{ kg/m}^2 / 606.36 \text{ kg/m}^3 = 0.00217 \text{ m.} \Rightarrow 2.17 \text{ mm.}$$

En esta capa de suelo se encuentra concentrada el 63% de la actividad del Be-7.

### 3. Resultados y Discusión

De acuerdo con los resultados obtenidos, es posible establecer procesos de redistribución de suelos a corto plazo. Para ello, es preciso que los estudios se realicen antes de las operaciones de labranza, de modo que el suelo no se vea afectado por modificaciones

dentro de él, lo que determinaría que su concentración fuera muy baja como para ser detectada. Asimismo, se observa una disminución exponencial de la concentración másica (DMA) con la profundidad bajo un perfil de suelo no removido y una distribución homogenizada dentro de la capa de arado.

Se obtiene un valor profundidad másica en el sitio de referencia ( $h'$ ) de 2,17 mm que indica que en esta capa de suelo se encuentra concentrada el 63% de actividad del Be-7.

### 4. Conclusiones

- El Be-7, debido a su vida media corta (53 días) y a su corto tiempo de residencia en el suelo, puede ser usado para documentar redistribución de suelos en el corto plazo.
- Se obtiene un valor de profundidad másica en el sitio de referencia ( $h'$ ) de 2,17 mm. que indica que en esta capa de suelo se encuentra concentrada el 63% de actividad del Be-7.
- La disminución de la concentración másica (DMA) del Be-7 en el suelo sigue un comportamiento exponencial con la profundidad.
- El Be-7 permite hacer evaluación en base a una sola visita a terreno.

### 5. Referencias

- [1] Walling DE, He Q. Towards improved interpretation of  $^{137}\text{Cs}$  profiles in lake sediments. In: McManus J, Duck R, (eds). Geomorphology and sedimentology of lakes and reservoirs. Chichester: Wiley. 1993. p. 31-53.
- [2] Walling DE, He Q. The global distribution of bomb-derived  $^{137}\text{Cs}$  reference inventories. Final Report on IAEA Technical Contract 10361/RO-R1. University of Exeter. 2000.
- [3] Walling DE, Zhang Y, He Q. Models for converting measurements of environmental radionuclide inventories ( $^{137}\text{Cs}$ , Excess  $^{210}\text{Pb}$ , and  $^7\text{Be}$ ) to estimates of soil erosion and deposition rates (Including software for model implementation). Department of Geography, University of Exeter, Exeter, EX4 4RJ UK. 2007.
- [4] Zapata F. Handbook for the assessment of soil erosion and sedimentation using environmental radionuclides. Netherlands: Kluwer Academic Publishers. p. 111.