

Uso del modelo de conversión de mediciones de inventarios en radionúclidos ambientales (Cs-137) para la estimación de tasas de erosión y deposición en suelos

Gerardo Maghella*, Mónica Vivanco, José Maguiña, Jacinto Valencia

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

Resumen

En el presente informe se muestra la aplicación de un modelo de conversión de mediciones de inventarios del radionúclido ambiental Cs-137, para estimaciones de tasas de reposición y deposición de erosión en suelos que involucra el Método Estándar y el Simplificado. Los datos analizados corresponden a un ejercicio llevado a cabo durante el Curso de Estimación de Erosión en Suelos por Radionúclidos de Precipitación (Cs-137) realizado en Chile. Para ello, se ha considerado el escenario de la determinación de tasas medias de redistribución de suelo durante períodos contrastantes de labranza, p. ej. a lo largo de transectos de pendiente en el sitio bajo Cero Labranza (CL) y para Labranza Total (LT). Los resultados obtenidos demuestran que el método simplificado es más versátil, porque solo requiere realizar dos mediciones por punto de muestreo y muestra la pérdida de suelos asociada al cambio desde Labranza Total a Cero Labranza, mientras que el estándar requiere la recolección de muestras en incrementos de profundidad. Asimismo, se tiene un valor de erosión por el método estándar de -3.33 kg/m^2 año, a partir del valor de la profundidad másica obtenido de la gráfica.

Abstract

This report shows one Cs-137 environment radionuclide inventory measurements conversion model application for soil erosion reposition and deposition rates estimation which involves the following methods: Standard and Simplified. Analyzed data corresponds to one exercise carried out during Fallout Radionuclides (Cs-137) Soil Erosion Estimation Course performed in Chile. For such purposes, soil redistribution during contrasting tilling periods mean rates has been considered, i.e., in slope transects in site under Zero Tilling and Total Tilling. Results obtained show that simplified method is versatile, due to it requires only 02 measurements per sample point and it shows the soil loss linked to changes from Zero Tilling and Total Tilling, while the standard one requires samples recollection in depth increases. Likewise, an erosion value for standard methods of $-3.33 \text{ kg/m}^2/\text{year}$ is obtained, from mass depth value given since graphic.

1. Introducción

Los radionúclidos ambientales como el ^{137}Cs y el ^7Be están siendo empleados intensamente para obtener información de las tasas de distribución de suelos por erosión y en estudios de la DSA (densidad superficial de actividad o inventario) de sedimentos [1]. El trabajo emprendido en un amplio rango de ambientes en diferentes áreas del mundo ha demostrado que su uso, tanto independiente como en combinación, alcanza medios valiosos de tasas de estimación de pérdida de suelos y deposición de sedimentos, que posee muchas ventajas sobre las técnicas convencionales de monitoreo [2]. Estas ventajas incluyen el potencial para derivar

tasas de deposición y estimados de erosión en una simple inspección y para armar la información distribuida de puntos en el paisaje, el cual puede ser usado para estudiar patrones espaciales de redistribución de suelos.

2. Desarrollo

Muchas aproximaciones diferentes han sido utilizadas para convertir las mediciones de Cs-137 a tasas estimadas de erosión y deposición de erosión [3]. Estos métodos incluyen, tanto relaciones empíricas como modelos teóricos y procedimientos de conteo.

* Correspondencia autor: gmaghella@ipen.gob.pe

En un esfuerzo para estandarizar los métodos y procedimientos empleados, Walling *et al.* [1] desarrollaron un programa que implementaba un número de modelos (procedimientos) que parecían proveer resultados significativos. Los modelos variaban en complejidad desde el modelo proporcional simple a modelos de balance de masa más complejos que intentaban describir los procesos claves que controlan la distribución de Cs-137 en el perfil del suelo. Se incluye en esto a aquellos modelos aplicables tanto a suelos cultivados como a eriazos (p. ej. pastizales, pastos permanentes). Estos programas estandarizados se pueden conseguir fácilmente y han tenido un papel importante en la promoción del empleo de Cs-137 en estudios relacionado con la erosión de suelos y sedimentación a nivel mundial.

2.1 Uso de modelos de conversión de mediciones de ¹³⁷Cs en tasas medias de redistribución de suelo durante períodos contrastantes de labranza

Existen dos escenarios típicos en donde se aplican el modelo de conversión: La Cero Labranza (CL) y la Labranza Total (LT).

a) La Cero Labranza consiste en el manejo de los residuos de la cosecha sin quema, con siembra y fertilización directa y que tiene como ventajas:

- Reduce pérdida de suelo y de nutrientes (cursos de agua), y
- Mejoramiento de la fertilidad del suelo y de la calidad del agua suelo.

Existe pérdida de suelo asociada al cambio desde el sistema de LT (labranza total) al CL, por la que la cuantificación de dicha pérdida se da mediante el empleo de métodos de conversión.

b) La Labranza Total reacomoda la capa superficial del suelo por completo. Requiere varios pasos para primero remover el suelo y luego deshacerlo o quebrarlo como semillero previo al sembrado.

2.2 Método estándar

Se basa en dos parámetros y requiere la recolección de muestras en incrementos de profundidad para su aplicación (se basa en la distribución del ¹³⁷Cs en profundidad).

Aplicación del método estándar

Caso 1

Estimación de tasa de erosión/sedimentación durante el período de Cero Labranza (CL): R_{nt} ($\text{kg/m}^2 \text{ y}^{-1}$).

Datos:

Tabla 1: Datos de la ubicación analizada.

$H =$	170	kg m^{-2}
$h(t) =$	120 (*)	kg m^{-2}
$h(t) - H =$	-50.00	kg m^{-2}
$t - t' =$	15	años
$R_{nt} =$	-3.33	$\text{kg m}^{-2} \text{ a}^{-1}$

Donde:

H: Profundidad histórica del arado durante la LT

h: Profundidad másica a la cual el Cs-137 estaba mezclado homogéneamente a la fecha de muestreo (t) durante el período CL.

(*) Valor obtenido a partir de la Tabla 2 y la Figura 1.

t - t': Años transcurridos entre el período de labranza total y el muestreo.

R_{nt} : tasa de erosión/sedimentación.

En la tabla 2 se presentan los datos obtenidos del análisis de las muestras de suelo a diferentes intervalos de profundidad.

Tabla 2. Datos obtenidos del análisis de muestras de suelo a diferentes profundidades.

Intervalo Profundidad	Profundidad másica	Profundidad másica acumulada	Densidad másica actividad (Bq kg^{-1})	
(cm)	kg m^{-2}	kg m^{-2}	2001	1986
		0		2.68
0	2	18.91	1.80	2.54
2	4	21.20	1.81	2.55
4	6	25.32	2.03	2.87
6	8	23.65	1.97	2.78
8	10	31.29	1.88	2.65
10	12	27.43	0.85	1.20
12	14	21.73	0.26	0.37

La evolución de la Densidad Másica de Actividad con la Profundidad Másica Acumulada del Cs-137 para diferentes intervalos de profundidad de muestreo se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Datos necesarios para la gráfica de la Densidad Másica de Actividad versus Profundidad Másica.

Profundidad Másica Acumulada (kg m ⁻²)	Densidad másica de actividad (Bq kg ⁻¹)	
	2001	1986
-50	0	0.00
-50	0	2.68
0	0	2.68
0	0	2.54
0	1.80	2.54
18.91	1.80	2.54
18.91	1.81	2.55
40.11	1.81	2.55
40.11	2.03	2.87
65.43	2.03	2.87
65.43	1.97	2.78
89.08	1.97	2.78
89.08	1.88	2.65
120.37	1.88	2.65
120.37	0.85	1.20
147.80	0.85	1.20
147.80	0.26	0.37
169.52	0.26	0.37
169.52	0.00	0.00

En la Tabla 3 se considera la diferencia de las Profundidades Másicas tanto histórica (durante labranza total) y luego de 15 años, (durante muestreo en el período de cero labranza).

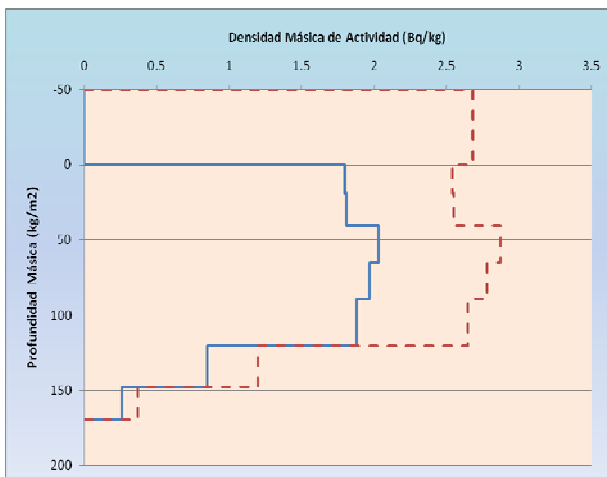


Figura 1. Distribución de la Densidad Másica de Actividad versus Profundidad Másica.

En la Figura 1 se observa, en línea azul continua, el comportamiento de la profundidad másica del Cs-137, con un valor estable (línea horizontal) aproximado de 120 kg/m² a partir del valor inicial de profundidad

másica acumulada en superficie. La línea roja entrecortada muestra el comportamiento de dicha profundidad considerando ya el valor de la diferencia de profundidades másicas acumuladas: $h(t) - H = -50 \text{ kg/m}^2$ y que indica realmente cuánto ha sido el efecto de la erosión entre los periodos de labranza en el intervalo de años estudiado.

2.3 Método simplificado (MS)

Se basa en la relación lineal significativa encontrada. Esta relación se encuentra entre la Distribución Superficial del Área (DSA) del Cs-137 hasta la profundidad h y la Distribución Superficial de Área total (A) en los puntos de muestreo analizados a lo largo de un transecto de pendiente con el método estándar.

El método simplificado se utiliza para estimar los cambios en la pérdida de suelo asociada al cambio desde Labranza Total (LT) a Cero Labranza (CL).

Entre sus ventajas tenemos:

- Requiere solo de dos mediciones de Cs-137 por punto de muestreo, obviando la necesidad de coleccionar muestras en incrementos de profundidad en todos los puntos.
- Su aplicación permite extender los resultados obtenidos por el Método Estándar a áreas mayores, aumentando la representatividad de los resultados y permitiendo un asesoramiento más riguroso del impacto del cambio de sistema de labranza.

Caso 2

En base a los datos señalados en la Tabla 4, se determinó la Densidad Superficial de Actividad (DSA) de 137-Cs en los puntos 1 a 4 de un transecto de pendiente.

Área cilindro de muestreo: 0,004094 m²

Tabla 4. Datos para la determinación de la erosión de un transecto de pendiente.

Muestra	Profundidad (cm)	Masa total (kg)	Prof. Másica (kg m ⁻²)	DMA (Bq kg ⁻¹)
1	0-25	1.088	265.73	1.70
2	0-25	1.17	285.69	1.60
3	0-25	1.275	311.50	1.63
4	0-25	1.26	308.16	2.92

2.4 Cálculos

Para el cálculo de la DSA se aplica la siguiente fórmula:

$$DSA = DMA \times Profundidad \text{ Másica}$$

donde:

DMA = Densidad Másica de Actividad (Bq/kg).

=> Muestra 1:

$$265.73 \text{ kg/m}^2 \times 1.70 \text{ Bq/kg} = 451.74 \text{ Bq/m}^2$$

En la Tabla 5 se representan los valores obtenidos de la Densidad Superficial de Actividad (DSA), para cada muestra:

Tabla 5. DSA obtenida para cada muestra Bq/m².

Muestra	Profundidad (cm)	Masa total (kg)	Prof. Másica (kg m ⁻²)	DMA* (Bq kg ⁻¹)	DSA (Bq m ⁻²)
1	0-25	1.088	265.73	1.70	451.74
2	0-25	1.17	285.69	1.60	456.11
3	0-25	1.275	311.50	1.63	508.64
4	0-25	1.26	308.16	2.92	899.89

3. Resultados y Discusión

De acuerdo con los resultados obtenidos, puede observarse que el método simplificado es uno de los más prácticos para estimar tasas de erosión, porque permite visualizar los efectos del cambio del sistema de labranza. Además, solo se requiere de 2 mediciones de Cs-137 por punto de muestreo.

Es preciso determinar, antes de realizar muestreos, la zona de referencia, de modo que exista un seguimiento del comportamiento de la redistribución del suelo por efecto de la erosión.

El método estándar requiere información del suelo previo a la cero labranza; además, requiere la recolección de muestras en incrementos de profundidad. El valor obtenido de -3.33 kg/m².año (-33.3 t/ha. año), demuestra que el suelo presenta una fuerte erosión.

El valor de profundidad másica del Cs-137 de 120 kg/m² se obtiene de los datos de la Tabla 2 y se visualiza en la Figura 1, que corresponde al grado de mezcla homogéneo que presenta el Cs-137 a la fecha del muestreo.

4. Conclusiones

- El modelo de conversión en estimación de redistribución de suelos se emplea para estimar montos de redistribución de suelos de corta duración y tasas medias (45 años) para el caso de Cs-137.
- Las ventajas de la cero labranza son que reducen la pérdida de suelo y de nutrientes y mejora la fertilidad y calidad del agua del suelo.
- La ventaja de usar el método simplificado del Cs-137 es que solo requiere dos mediciones por punto, sin recolección de muestras en incrementos de profundidad.
- El método estándar permite discriminar entre tasas de redistribución de suelo de períodos de labranza contrastantes en un mismo potrero.
- Las mediciones de Cs-137 constituyen una herramienta alternativa altamente valiosa frente a técnicas tradicionales, para asesorar el impacto del cambio del sistema de labranza sobre la pérdida de suelo.

5. Referencias

- [1] Walling DE, He Q. Towards improved interpretation of ¹³⁷Cs 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 ¹³⁷Cs 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 (¹³⁷Cs, Excess ²¹⁰Pb, and ⁷Be) to estimates of soil erosion and deposition rates (Including software for model implementation). Department of Geography, University of Exeter, Exeter, EX4 4RJ UK. 2007.