

Potencialidad del uso de ^{137}Cs en estudios de erosión en la región Andino Patagónica: primeros resultados

Ludmila La Manna¹ y Ana Navas²

¹ Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico; Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco; CONICET. Esquel. Argentina. llamanna@ciefap.org.ar

² Departamento de Suelo y Agua, Estación Experimental Aula Dei (EEAD-CSIC). Avda Montañana 1005. 50059 Zaragoza. España anavas@eead.csic.es

RESUMEN

Una de las metodologías actuales más utilizadas para cuantificar pérdida de suelo es la aplicación de técnicas radiométricas, siendo el radionucleido artificial ^{137}Cs uno de los más difundidos. Este estudio propone evaluar la potencialidad del uso de técnicas radiométricas para estudios de erosión en suelos de la región Andino Patagónica.

Como primer requisito es necesario establecer inventarios de referencia de ^{137}Cs en zonas llanas, estables y prístinas que no hayan sufrido erosión o acumulación de suelo. Se seleccionaron dos sitios cercanos a la localidad de Esquel, Chubut, Argentina ($42^{\circ}54'$ Latitud Sur, $71^{\circ}22'$ Longitud Oeste), correspondientes a bosques inalterados de *Maytenus boaria*, ubicados en una posición estable y plana. La precipitación del área es de 600 mm anuales y los suelos son de origen volcánico y texturas francas. En cada sitio se tomaron muestras fraccionadas cada 5 cm y muestras totales hasta una profundidad de 45 cm, incluyendo un total de 11 puntos de referencia.

Se encontró una importante variación entre los perfiles analizados, lo que demuestra que algunos de los puntos muestreados han podido ser disturbados probablemente por fauna. La profundidad de penetración del ^{137}Cs alcanzó un máximo de 20 cm en uno de los perfiles. Los inventarios de referencia de ^{137}Cs , incluyendo únicamente los puntos que no han sido disturbados, están en un rango de entre 199 a 229 Bq m⁻². Los resultados evidencian la necesidad de profundizar en el muestreo, incrementando el número de réplicas y sitios de muestreo, y acotando la profundidad de las muestras totales. Si bien se trata de un estudio preliminar, los valores del inventario de ^{137}Cs resultan promisorios para el uso de esta técnica en la valoración de procesos de redistribución del suelo en la región Andino Patagónica.

INTRODUCCIÓN

La Patagonia argentina se ve afectada por procesos de degradación de suelos, originados principalmente por sobrepastoreo (Paruelo & Aguiar 2003). Se estima que el 67.2 % de la Patagonia sufre procesos moderadamente severos a muy severos de desertificación (Del Valle et al. 1998).

Los fenómenos de erosión han sido intensamente estudiados en la zona más árida de la Patagonia Argentina (v.gr. Rostagno 1989, Ares et al. 1990, Parizek et al. 2002), sin embargo es escasa la información disponible sobre la región andina. No obstante, se reconoce que los suelos del área cordillerana sufren un proceso progresivo de degradación, como consecuencia del desmonte asociado al sobrepastoreo, y de los incendios forestales, también asociados a un posterior sobrepastoreo (Irisarri et al. 1995, DGB&P 1998).

En la Región Andino Patagónica la ceniza volcánica es el material original predominante de los suelos (Irisarri & Mendía 1997). Se ha demostrado que la erosión en suelos volcánicos involucra la fragmentación de agregados grandes por el impacto de la lluvia y el subsecuente transporte por escorrentía de agregados pequeños, estables y de baja densidad aparente (Rodríguez et al. 2002, Armas et al. 2004). Así, estudios de riesgo de erosión en el continente europeo consideran a los suelos volcánicos como extremadamente vulnerables a la erosión (van der Knijff et al. 2000).

Una de las metodologías actuales más utilizadas para cuantificar pérdida de suelo y redépósito es la aplicación de técnicas radiométricas, siendo el radioisótopo ^{137}Cs uno de los más difundidos (Ritchie & Ritchie 2008). La utilización de ^{137}Cs , el cual ha sido introducido en el paisaje como consecuencia de pruebas nucleares, se basa en que el depósito de este radionucleido es uniforme en cada zona climática y es rápidamente adsorbido por el suelo (Ritchie 1998). Esta técnica sólo puede ser utilizada en áreas donde el depósito de ^{137}Cs en el suelo sea lo suficientemente grande como para permitir una cuantificación precisa, siendo Argentina, por su posición latitudinal, un área adecuada (García Agudo 1998). Esta técnica ha sido utilizada con buenos resultados en una cuenca de la región pampeana (Buján et al. 2000, 2003), en una zona semiárida de la región de Cuyo en Argentina (Juri Ayub et al. 2008) y en el centro-sur de Chile (Schuller et al. 1999, 2000).

En la cuantificación de la erosión se utilizan modelos que relacionan la pérdida/ganancia de suelo con la pérdida/ganancia del isótopo radiactivo ^{137}Cs , utilizando como referencia un sitio no afectado por erosión ni sedimentación (Soto & Navas 2004, 2008). Así, como primer requisito para utilizar esta técnica es necesario establecer inventarios de referencia de ^{137}Cs en zonas llanas, estables y prístinas que no hayan sufrido erosión ni acumulación de suelo.

El objetivo de este estudio, de índole preliminar, fue evaluar la potencialidad del uso de ^{137}Cs en estudios de erosión en la región Andino Patagónica mediante la valoración de inventarios de referencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron dos sitios cercanos a la localidad de Esquel, Chubut, Argentina (Figura 1), correspondientes a bosques inalterados de *Maytenus boaria*, ubicados en una posición estable y plana. La precipitación del área es de 600 mm anuales.

En cada sitio se realizó una calicata para la descripción del perfil de suelo.

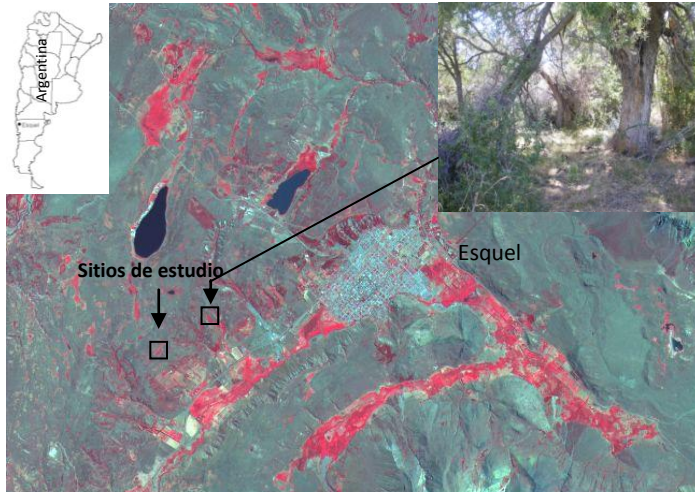


Figura 1. Ubicación del área de estudio y detalle de un sitio de referencia.

Para el muestreo de ^{137}Cs , se tomaron perfiles seccionados con muestras fraccionadas cada 5 cm y perfiles totales hasta una profundidad de 45 cm, incluyendo un total de 11 puntos de referencia.

Las muestras se secaron y tamizaron por malla de 2 mm. Submuestras de 50g se utilizaron para realizar los análisis de la actividad de ^{137}Cs que emite rayos gamma con una energía conocida y característica (662 keV). Las determinaciones se realizaron mediante un espectrómetro de rayos gamma con un detector coaxial de germanio hiperpuro, de alta resolución (1.9 KeV) y bajo fondo, con una eficiencia del 30 %. Se utilizaron patrones certificados en muestras de calibración con la misma geometría de las muestras analizadas. El tiempo de conteo fue de 86000 s y el error de la medida fue inferior al 5%.

Para cada muestra de suelo analizada se obtuvo un valor de actividad por unidad de masa (Bq kg^{-1}) el cual fue convertido en una medida de carga por unidad de área, conocida como inventario (Bq m^{-2}), teniendo en cuenta la densidad de la muestra de suelo. El inventario total de ^{137}Cs en un punto se determinó como la suma de los inventarios de cada intervalo del perfil seccionado de suelo.

Algunas propiedades químicas y físicas de las muestras fueron también determinadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los suelos de los sitios de referencia correspondieron a perfiles desarrollados a partir de ceniza volcánica, material original predominante en la región (Figura 2). Las propiedades químicas y físicas de las muestras se detallan en la Tabla 1.


Descripción geomórfica: Ladera de valle glacifluvial		
Pendiente: Orientación: E (120°) Gradiente: 8°		
Drenaje: Bien drenado	Fragmentos superficiales: ausentes	
Material parental: ceniza volcánica sobre depósito glacifluvial		
DESCRIPCIÓN PERFIL		
Oi	0 – 0,5cm	Restos de hojas de maitén ligeramente descompuestas.
Oa	0,5 – 1c	
Hz A	1 – 40cm	Pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo. Franco. Granular, moderada, media. Raíces medias y finas, en toda el área. Reacción al FNa: negativa. Límite claro, plano.
Hz AC	40 – 78cm	Negro (10YR 2/1) en húmedo. Franco. Bloques subangulares fuertes, medios. Raíces medias y finas, en toda el área. Reacción al FNa: negativa. Límite claro, plano.
Hz C 1	78 – 120cm	Gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo. Franco. Bloques subangulares, moderados, finos. Raíces medias y finas, en toda el área. Reacción al FNa: negativa. Límite claro, plano.
Hz 2C2	120-142cm	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo. Arcilloso. Bloques subangulares con tendencia a masivo. . Raíces medias y finas, en toda el área. Reacción al FNa: negativa. Límite abrupto, plano.
Hz 2C3	142+	Pardo (10YR 4/3) en húmedo. Arcilloso. Masivo. . Raíces gruesas y medias. Escasos moteados y rasgos redoximórficos. Acumulaciones de materia orgánica. 10% de fragmentos gruesos, grava fina. Reacción al FNa: negativa.

Figura 2. Descripción de un perfil de suelo representativo de los sitios de referencia.

Tabla 1. Valores medios y error estándar de propiedades químicas y físicas de las muestras superficiales (0-5 cm) y totales (0-40 cm).

Profundidad		MO (%)*	pHactual	pHNaF2**	pHNaF60**	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
0-5	Media	11.23				43.85	49.53	6.63
	Error estándar	3.35				2.74	3.60	0.93
0-40	Media	12.75	7.04	8.72	9.15	47.43	48.67	3.90
	Error estándar	1.14	0.18	0.08	0.06	6.47	6.19	0.35

* Materia orgánica determinada mediante el método de pérdida de peso por ignición (Davies 1974).

**Los valores de pH NaF sugieren la presencia de haloisita y transición haloisita-imogolita.

La profundidad de penetración del ^{137}Cs alcanzó un máximo de 20 cm en uno de los perfiles; en tanto que en los otros, sólo fue detectable hasta 5 o 10 cm (Tabla 2). Los perfiles de actividad de ^{137}Cs mostraron un patrón decreciente en profundidad (Figura 2) en concordancia con lo reportado en otras áreas de vegetación natural (Navas et al., 2005, 2012).

La importante variación encontrada en los perfiles de suelo sugiere que algunos de los puntos muestreados han podido ser disturbados probablemente por fauna. En la mayoría

de las muestras totales el contenido de ^{137}Cs no fue detectable, debido probablemente a un efecto de dilución de la muestra (Tabla 2).

Tabla 2. Valores de actividad e inventario de ^{137}Cs para cada profundidad y punto de muestreo.

Punto	Profundidad	Actividad ^{137}Cs [Bq kg ⁻¹]	Inventario ^{137}Cs [Bq m ⁻²]	Inventario Total ^{137}Cs [Bq m ⁻²]
1	0-5	3.75	59.94	140.00
1	5-10	2.85	80.06	
1	10-15	0.00	0.00	
2	0-5	4.75	99.55	198.73
2	5-10	2.01	52.12	
2	10-15	1.47	42.58	
2	15-20	0.13	4.47	
3	0-5	1.51	37.45	37.45
3	5-10	0.00	0.00	
3	10-15	0.00	0.00	
4	0-45	0.00	0.00	0.00
5	0-45	0.00	0.00	0.00
6	0-45	1.29	229.03	229.03
7	0-5	0.41	21.15	21.15
7	5-10	0.00	0.00	
7	10-15	0.00	0.00	
8	0-5	4.11	136.05	209.13
8	5-10	2.01	73.08	
8	10-15	0.00	0.00	
9	0-45	0.00	0.00	0.00
10	0-45	0.00	0.00	0.00
11	0-45	0.00	0.00	0.00

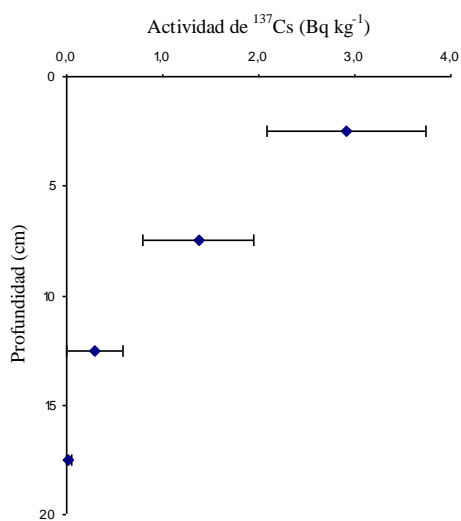


Figura 2. Valores medios y error estándar de la actividad de ^{137}Cs (Bq kg⁻¹) en muestras de suelo para los distintos intervalos de profundidad.

Los inventarios de referencia de ^{137}Cs , incluyendo únicamente los puntos que no han sido disturbados, estuvieron en un rango de entre 199 a 229 Bq m^{-2} . Si bien se trata de un estudio preliminar, los valores del inventario de ^{137}Cs resultan promisorios para el uso de esta técnica en la valoración de procesos de redistribución del suelo en la región Andino Patagónica.

CONSIDERACIONES FINALES

Los resultados de este estudio evidencian la necesidad de profundizar en la temática. En el futuro se prevé incrementar el número de réplicas y sitios de muestreo, acotando la profundidad de las muestras totales. A su vez, se prevé ahondar en la valoración de esta técnica en sitios de la misma latitud y sometidos a mayores precipitaciones, dado que en la región de estudio existe un fuerte gradiente longitudinal de precipitación y el depósito de ^{137}Cs está fuertemente influenciado por este parámetro.

BIBLIOGRAFÍA

- Ares J, Beeskow AM, Bertiller M, Rostagno M, Irisarri M, Anchorena J, Defossé GE & Merino C. 1990. Structural and dynamic characteristics of overgrazed lands of northern Patagonia, Argentina. En: Bremeyer A (ed.), *Managed grasslands: regional studies*, Elsevier, Amsterdam, pp. 149-175.
- Armas CM, Arbelo CD, Guerra JA, Mora JL, Notario JS & Rodríguez AR. 2004. Erodibility of forest Andosols and soil properties. XIII International Soil Conservation Organization Conference, Brisbane, Julio 2004. 4p
- Buján A, Santanatoglia O, Chagas C, Massobrio M, Castiglioni M, Yáñez M, Ciallella H & Fernández J. 2000. Preliminary study on the use of the ^{137}Cs method for soil erosion investigation in the pampean region of Argentina. *Acta Geológica Hispánica* 35: 271-277.
- Buján A, Santanatoglia O, Chagas C, Massobrio M, Castiglioni M, Yáñez M, Ciallella H & Fernández J. 2003. Soil erosion in a small basin through the use of ^{137}Cs technique. *Soil and Tillage Research* 69(1-2):127-137.
- Davies BE. 1974. Loss-on ignition as an estimate of soil organic matter. *Soil Science Proceedings* 38: 150.

- Del Valle HF, Elissalde N, Gagliardini D & Milovich J. 1998. Status of desertification in the Patagonian region: Assessment and mapping from satellite imagery. *Arid Land Research and Management* 12(2): 95–121.
- DGB&P (Dirección General de Bosques y Parques de la provincia del Chubut). 1998. La desertificación en el área cordillerana de la Provincia del Chubut. *Patagonia Forestal* 4(2): 2-3.
- García Agudo E. 1998. Global distribution of ^{137}Cs inputs for soil erosion and sedimentation studies. En: Use of ^{137}Cs in the study of Soil erosion and sedimentation. IAEA-tecdoc-1028. Viena, Austria.
- Irisarri JA & Mendía JM. 1997. Relaciones suelo - paisaje en la evaluación de la potencialidad forestal de la región central andino - patagónica, Argentina. *Bosque* 18: 21 – 30.
- Irisarri JA, Mendía JM, Roca C, Buduba CG, Valenzuela MF, Epele F, Fraseto F, Ostertag G, Bobadilla S & Andenmatten E. 1995. Zonificación de las tierras para la aptitud forestal de la Provincia del Chubut. Dirección General de Bosques y Parques de la Provincia del Chubut. Chubut. Formato digital.
- Juri Ayub J, Velasco RH, Rizzotto M, Quintana EE & Aguiar JC. 2008. Soil and plants content of ^{40}K , ^{137}Cs and ^{226}Ra in a seminatural grassland in central Argentina. *AIP Conference Proceedings*, 1034: 273 – 276.
- Navas A, Machín J & Soto J. 2005. Assessing soil erosion in a Pyrenean mountain catchment using GIS and fallout ^{137}Cs . *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 105: 493-506.
- Navas A, López-Vicente M, Gaspar L & Machín J. 2012. Assessing soil redistribution in a complex karstic catchment using fallout ^{137}Cs and GIS. *Geomorphology*, 10.1016/j.geomorph.2012.03.018.
- Parizek E, Rostagno CM & Sottini R. 2002. Soil erosion as affected as shrub encroachment in northeastern Patagonia. *Journal of Range Management* 55:43-48.
- Paruelo J & Aguiar M. 2003. Impacto humano sobre los ecosistemas: el caso de la desertificación. *Ciencia Hoy* 13 (77): 48-59.

- Rodríguez Rodríguez A, Arbelo C, Guerra J & Mora J. 2002. Erosión hídrica en Andosoles de las Islas canarias. *Edafologia* 9(1): 23-30.
- Rostagno CM. 1989. Infiltration and sediment production as affected by soil surface conditions in a shrubland of Patagonia, Argentina. *Journal of range management* 42(5): 382-385.
- Ritchie JC. 1998. ^{137}Cs use in estimating soil erosion: 30 years of research. En: Use of ^{137}Cs in the study of Soil erosion and sedimentation. IAEA-tecdoc-1028. Viena, Austria.
- Ritchie JC & Ritchie CA. 2008. Bibliography of publications of $^{137}\text{Cesium}$ studies related to erosion and sediment deposition. Hydrology and Remote Sensing Laboratory. USDA. Formato digital.
- Schuller P, Sepúlveda A, Ellies A & Castillo A. 1999. Utilización de ^{137}Cs en cuantificación de erosión y sedimentación en un Palehumult de la IX Región. *Agro Sur* 27(1): 29-36.
- Schuller P, Sepúlveda A, Trumper RE & Castillo A. 2000. Application of the ^{137}Cs technique to quantify soil redistribution rates in Paleohumults from Central-South Chile. *Acta Geológica Hispánica* 35: 285-290.
- Soto J & Navas A. 2004. A model of ^{137}Cs activity profile for soil erosion studies in uncultivated soils of Mediterranean environments. *Journal of Arid Environments* 59 (4): 719-730.
- Soto J & Navas A. 2008. A simple model of Cs-137 profile to estimate soil redistribution in cultivated stony soils. *Radiation Measurements*, 43: 1285-1293.
- van der Knijff JM, Jones R & Montanarella L. 2000. Soil Erosion Risk Assessment in Europe. European Soil Bureau, European Commission. 38p. Disponible en: www.preventionweb.net/files/1581_ereurnew2.pdf