



Foto: INIA

EROSIÓN DEL SUELO: nuevos métodos de estudio en el “viejo” experimento de rotaciones de La Estanzuela

Ing. Agr. PhD Andrés Quincke¹, Lic. Biol. PhD Marcos Tassano², Lic. Geol. Joan M. González³, Ing. Agr. PhD Kathrin Grahmann⁴, Ing. Agr. PhD Mario Pérez-Bidegain⁵, Ing. Agr. PhD Verónica Ciganda¹, PhD Olivier Evrard⁶, Téc. Agrop. Emiliano Barolín¹, Lic. Bioq. PhD Mirel Cabrera²

¹INIA La Estanzuela, Uruguay

²Laboratorio de Radioquímica, Centro de Investigaciones Nucleares, Facultad de Ciencias - Udelar, Uruguay

³Becario ANII durante el proyecto; Laboratorio de Radioquímica, Centro de Investigaciones Nucleares, Facultad de Ciencias - Udelar, Uruguay

⁴Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF) - Müncheberg, Alemania

⁵Departamento de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía - Udelar, Uruguay

⁶Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, Université Paris -Saclay, Francia

Ha finalizado un proyecto interinstitucional en el cual se utilizó el experimento de Rotaciones Agrícola-Ganaderas “José L. Castro” para determinar la pérdida de suelo en algunas de sus parcelas. Se usó la técnica del Cesio 137 (¹³⁷Cs), un elemento que proviene de las pruebas nucleares de la posguerra. Las deposiciones atmosféricas de ¹³⁷Cs comenzaron a marcar el suelo de nuestro país hace 60 años aproximadamente, justo cuando se iniciaba el experimento de largo plazo más antiguo de Latinoamérica.

EL ABORDAJE DE LA EROSIÓN DE SUELO EN URUGUAY

Para vastas regiones del mundo, incluyendo a Uruguay, la mayor amenaza de degradación de suelos es la erosión hídrica, es decir, la pérdida de suelo causada por la lluvia.

En el 2008, durante un histórico período de aumento del área agrícola, el país concretó la reglamentación de la ley de conservación de suelos y aguas (Decreto-ley 15.239 del año 1981), a través de la exigencia de los planes de uso y manejo responsable del suelo para los predios dedicados a la agricultura (Decreto N°405 del año 2008).

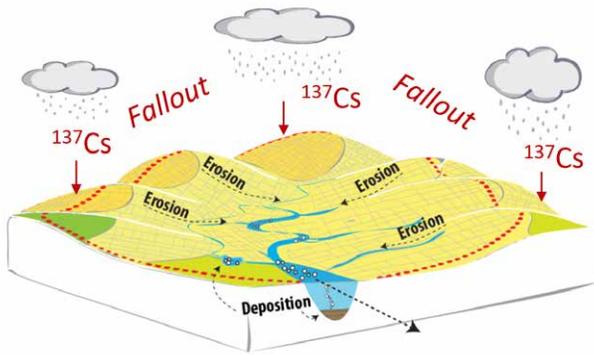


Figura 1 - Diagrama esquemático del proceso de erosión hídrica a nivel de paisaje y la utilidad del ^{137}Cs para abordar su estudio. El ^{137}Cs ingresa al suelo por deposición atmosférica ("Fallout") y se adsorbe fuertemente a las partículas de suelo.

Este requisito implica diseñar un plan de producción y conservación tal que no se supere la tasa de erosión hídrica tolerable. Para ello, se utiliza la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) y su versión revisada (RUSLE). Estos modelos fueron validados y adaptados a las condiciones nacionales (García-Préchac *et al.*, 2017). Sin embargo, la USLE/RUSLE debe ser usada para condiciones de erosión laminar, pero no para condiciones de erosión en surcos o cárcavas. Tampoco permite estimar la acumulación de suelo que puede ocurrir en zonas de sedimentación (por ejemplo, en posiciones bajas del relieve).

EL MÉTODO DEL ^{137}Cs PARA ESTIMAR LA EROSIÓN

El uso de radionucleidos ambientales como el ^{137}Cs es otro método utilizado en la investigación para determinar las tasas de erosión y acumulación. El principio se basa en que hubo deposiciones atmosféricas de ^{137}Cs , cuyo origen son las pruebas nucleares realizadas durante la posguerra. El pico de lluvia radiactiva en América del Sur ocurrió entre 1964 y 1972. Una vez en el suelo, el ^{137}Cs queda fijado a las partículas del suelo, con una tasa de decaimiento constante, pues es un proceso puramente físico. En el proceso erosivo, el ^{137}Cs se moviliza junto con las partículas de suelo (Figura 1).

La metodología implica analizar el contenido de ^{137}Cs en el perfil del suelo, realizando muestreos por estratos relativamente pequeños, por ejemplo, cada 2,5 cm. Se calcula el inventario de ^{137}Cs para el perfil de suelo, el cual se compara con un sitio de referencia no erosionado. En Uruguay, esta técnica ha sido utilizada con éxito para estimar la tasa de erosión en diferentes agroecosistemas (Cabrera *et al.*, 2023).

EL EXPERIMENTO DE ROTACIONES "JOSÉ L. CASTRO"

Fue instalado en el año 1963 para estudiar diferentes rotaciones de cultivos con y sin pasturas. El diseño experimental incluye siete tratamientos de rotaciones, dispuestos aleatoriamente en tres bloques, con un tamaño de parcela de 0,5 ha (21 parcelas, 10,5 ha en total). Está emplazado en una ladera que se extiende entre una cima (o divisoria de aguas) y un pie de ladera (próximo a un desagüe natural). El suelo dominante es un brunosol éutrico típico franco arcillo limoso con propiedades vérticas (Vertic Argiudoll según el USDA Soil Taxonomy), y desarrollado sobre la formación Libertad. La pendiente es de 2,5 a 3,0 %. Las parcelas (25 x 200 m) abarcan las posiciones topográficas de la ladera y están dispuestas prácticamente en el sentido de la mayor pendiente. Más detalles del experimento se pueden encontrar, por ejemplo, en la Revista INIA N° 59 (Quincke *et al.*, 2019) o en Grahmann *et al.* (2020).

¿PARA QUÉ HICIMOS LA INVESTIGACIÓN CON ^{137}CS ?

Uno de los objetivos del proyecto fue cuantificar la pérdida y la acumulación de suelo en distintas posiciones de la ladera, como consecuencia del proceso erosivo en casi 60 años de manejos contrastantes.

PRINCIPALES ASPECTOS DE METODOLOGÍA

Presentamos resultados de dos parcelas con los siguientes sistemas o historias de uso: a) cultivo continuo (sistema 2, parcela #5); y b) rotación de dos años de cultivos y un año de pastura de trébol rojo (sistema 7, parcela #1).

Cada parcela fue muestreada siguiendo una transecta longitudinal, con cinco puntos de muestreo desde la cima hasta el punto más bajo de la parcela (a 40, 80, 120, 160 y 200 m; Figura 2).



Figura 2 - Vista aérea del experimento de Rotaciones "José L. Castro" (INIA La Estanzuela). Se señala el muestreo de suelo a lo largo de una transecta longitudinal en cada parcela.



Figura 3 - Muestreo de suelos. En cada punto se obtienen seis tomas con calador hidráulico, que se segmentan por estratos de 2,5 cm.

En cada punto de muestreo se realizaron seis tomas para obtener muestras compuestas a intervalos de profundidad de 2,5 cm (Figura 3). Las muestras se secaron a 40 °C durante 48 h, se pesaron y se tamizaron a 2 mm.

El inventario de referencia (de suelo no erosionado) se obtuvo en un sitio del casco de la estación experimental INIA La Estanzuela. Se obtuvieron nueve muestras compuestas (y seis tomas por muestra) a intervalos de profundidad de 2,5 cm, hasta una profundidad de 35 cm.

Las mediciones del ^{137}Cs en suelo se realizaron en el Laboratorio de Radioquímica, Centro de Investigaciones Nucleares (Facultad de Ciencias, Universidad de la República). Se utiliza un detector de germanio de alta pureza para determinar la emisión de rayos gama debida a la naturaleza radiactiva de este radioisótopo. Para convertir los inventarios de ^{137}Cs (Bq/m^2) en tasas de erosión o acumulación ($\text{Mg}/\text{ha}/\text{año}$) se usó el modelo de balance de masas II (Walling *et al.*, 2011).

RESULTADOS

El inventario del sitio de referencia fue de $367 \text{ Bq}/\text{m}^2$ (Figura 4). El diagrama cualitativo de la Figura 5 permite visualizar cómo varían las mediciones de ^{137}Cs a lo largo de la ladera. En ambas parcelas se observó que hubo pérdida de suelo hasta 160 m, pero acumulación de suelo en el último punto de ambas transectas (punto 200 m).

Cuadro 1 - Tasas de erosión estimadas con la técnica del ^{137}Cs en dos parcelas con distinta historia de uso en el experimento “José L. Castro” (INIA La Estanzuela). Los cinco puntos de observación (40, 80, 120, 160 y 200 m) están explicados en el texto y en la Figura 2.

Parcela	Historia o sistema de uso	Puntos de muestreo en la transecta (distancia desde la cima, metros)				
		40	80	120	160	200
		Tasa de erosión ($\text{Mg}/\text{ha}/\text{año}$)				
5	Cultivo continuo (sistema 2)	11,3	4,9	11,7	4	-37,9
1	Rotación c/trébol rojo (sistema 7)	5,7	5,4	4,2	2,4	-12,4

A partir de las determinaciones de ^{137}Cs se estimaron las tasas de erosión o de acumulación de suelo (Cuadro 1). En la parcela de cultivo continuo la erosión promedio fue de $8,0 \text{ Mg}/\text{ha}/\text{año}$ (excluyendo el punto de acumulación). En cambio, la parcela de la rotación con trébol rojo tuvo una erosión promedio de $4,4 \text{ Mg}/\text{ha}/\text{año}$. En el último punto de ambas transectas, próximo al pie de ladera, la tasa de acumulación de suelo fue de $37,9$ y $12,4 \text{ Mg}/\text{ha}/\text{año}$, respectivamente. Comparando ambas parcelas, la acumulación fue tres veces mayor en la parcela de cultivo continuo que en la de rotación con trébol rojo. Esto es coherente con que la parcela de cultivo continuo tuvo mayor erosión en el resto de la parcela.

Los cuatro puntos de erosión de la parcela de cultivo continuo (parcela #5) oscilan entre $4,0$ y $11,7 \text{ Mg}/\text{ha}/\text{año}$ (Cuadro 1). Estas variaciones pueden deberse a que el suelo erosionado podría depositarse en puntos intermedios de la ladera. Además, una parcela adyacente (parcela #4) tuvo erosión muy severa. A juzgar por la topografía, esta parcela puede haber aportado sedimentos a la parcela #5.

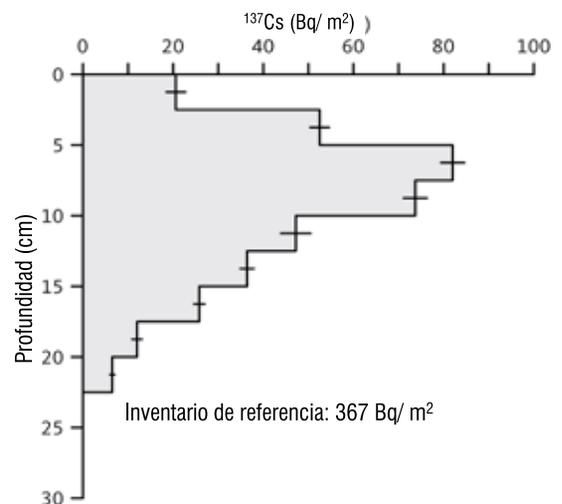
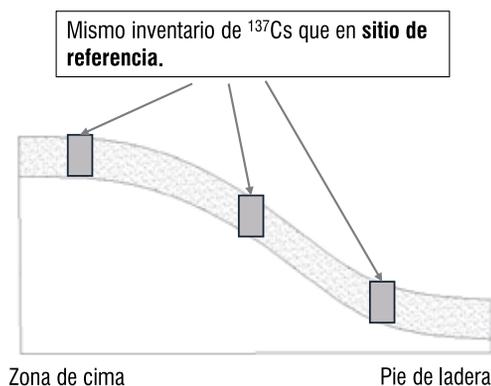
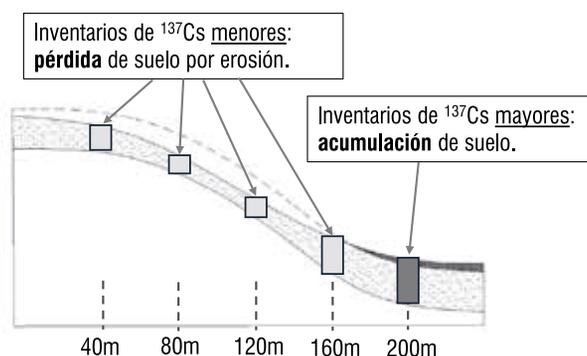


Figura 4 - Perfil vertical de ^{137}Cs en el sitio de referencia. Se obtuvieron nueve muestras compuestas de cada estrato de 2,5 cm. Cada muestra se compone de seis tomas. Se grafica el promedio de ^{137}Cs y el desvío por estrato. El inventario promedio fue $367 \text{ Bq}/\text{m}^2$. Fecha de calibración: 01/01/2020.



Años iniciales del experimento:

. Suelo homogéneamente marcado con ^{137}Cs , igual que el **sitio de referencia** (367 Bq/m^2).



Situación actual después de +50 años de erosión:

. Se observan puntos con inventarios menores, que significan **pérdida** de suelo.

. En la parte más baja de la ladera se observa **acumulación** de suelo.

Figura 5 - Diagrama cualitativo de las mediciones de ^{137}Cs en cinco puntos (40, 80, 120, 160 y 200 m) de las parcelas del experimento de Rotaciones "José L. Castro". Estas mediciones resultaron en las tasas de pérdida o de acumulación de suelo que se resumen en el Cuadro 1.

La acumulación de suelo por erosión fue tres veces mayor en la parcela de cultivo continuo que en la de rotación con trébol rojo.

Utilizando el método del ^{137}Cs , se vuelve a demostrar que la rotación con pasturas ejerce un rol fundamental en el control de la erosión.

CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

Las principales conclusiones del estudio realizado son las siguientes:

- En este trabajo, usando el método del ^{137}Cs , se vuelve a demostrar que la rotación con pasturas ejerce un rol fundamental en el control de la erosión. Resultados en este sentido se obtuvieron en otros estudios empleando otras técnicas.
- Los resultados ofrecen importantes evidencias de la magnitud de la acumulación de suelo en zonas bajas del terreno (pie de ladera).
- Nuevos proyectos están en curso para una mejor valoración de la conservación del carbono en las zonas de acumulación de suelo por erosión.
- No es posible predecir la acumulación de suelo usando el modelo USLE/RUSLE, por lo cual resulta importante validar otros modelos alternativos.

RECONOCIMIENTO

El trabajo presentado en este artículo fue realizado en el marco del proyecto FMV_1_2019_1_156244 y la beca de posgrado de la ANII para el Lic. Joan M. González.

REFERENCIAS

Cabrera M, Sanabria R, González J, Cabral P, Tejada S, Zarazua G, Melgar-Paniagua E, y Tassano M. (2023). Using ^{137}Cs and ^{210}Pb to assess soil redistribution at different temporal scales along with lithogenic radionuclides to evaluate contrasted watersheds in the Uruguayan Pampa grassland. *Geoderma* 435:116502.

García Préchac, F., Terra, J., Sawchik, J. y Pérez Bidegain, M. 2017. Mejora de las estimaciones con USLE/RUSLE empleando resultados de parcelas de escurrimiento para considerar el efecto del agua del suelo. *Agrociencia* 21, pp.100-104.

Grahmann, K., Rubio Dellepiane, V., Terra, J. y Quincke, A. 2020. Long-term observations in contrasting crop-pasture rotations over half a century: statistical analysis of chemical soil properties and implications for soil sampling frequency. *Agriculture, ecosystems & environment*, 287:106710.

Quincke, A., Ciganda, V., Sawchik, J., Fernández, E., Hirigoyen, D., Sotelo, D., Restaino, E. y Lapetina, J. 2019. Rotaciones cultivos pasturas INIA La Estanzuela: aprendiendo del experimento más antiguo de Latinoamérica. *Revista INIA*, 59, pp.46-60.

Walling, D.E., Zhang, Y. and He, Q. 2011. Models for deriving estimates of erosion and deposition rates from fallout radionuclide (caesium-137, excess lead-210, and beryllium-7) measurements and the development of user friendly software for model implementation. *Impact of soil conservation measures on erosion control and soil quality*. IAEA-TECDOC-1665, pp.11-33.