

# Estimación del Impacto de la Soja sobre Erosión y C Orgánico en Suelos Agrícolas del Uruguay<sup>1</sup>

Carlos Clérico<sup>2</sup>, Walter Baethgen<sup>3</sup>, Fernando García Préchac<sup>2</sup> y Mariana Hill<sup>2</sup>

## Introducción

Este trabajo presenta estimaciones de tasa de pérdida de suelo por erosión y de variaciones del contenido de carbono orgánico (CORG) en sistemas de producción que incluyen soja en intensidades que van desde cultivo continuo a rotaciones de cultivos y pasturas de cuatro años de duración, realizados con laboreo reducido (LR) o con siembra directa (SD). En el entendido que las variables estimadas constituyen los principales indicadores de sostenibilidad física de los sistemas productivos y no contando con datos experimentales de casos que incluyan diferente participación del cultivo de soja, se intenta con ellas analizar a priori, el impacto que generarían. El objetivo de las estimaciones es aportar a la toma de decisiones en la selección del uso y manejo de los suelos agrícolas de Uruguay.

Se presta especial atención al cultivo de soja, porque en Uruguay el mismo pasó de casi desaparecido (hace 2 años se plantaron solo 30 kha) a que en la última campaña se plantaran 260 kha, como consecuencia de su alto precio y de la participación de agricultores e inversores argentinos, que han realizado más de la mitad de dicha superficie. Resultados de INIA-33 (Terra y García Préchac, 2001), indican que si la secuencia de cultivos deja pocos residuos, como es de esperar lo hagan las fases de cultivos dominadas por soja, a mediano y largo plazo ocurre alguna degradación del recurso suelo, aún con SD. Allmaras, et al. (1991) presentan resultados que muestran a la soja dejando menos cantidad de residuos en superficie y dentro de los primeros 10 cm del suelo que maíz y trigo, determinando mayores valores del Factor C de RUSLE, que estima el riesgo de erosión por uso y manejo, con y sin laboreo. Determinaciones similares citadas por Shelton, et al. (1992), reportan a la soja teniendo los menores valores de cobertura por residuos con y sin laboreo. Ello determinó mayores pérdidas de suelo por erosión respecto al trigo y maíz.

Lo anterior refuerza la atención a prestar a este cultivo y a su intensidad de participación en los sistemas de producción, aun en caso de SD.

---

<sup>1</sup> Trabajo presentado y publicado en el XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (2004) y en la Revista Cangüe No. 26 (2004)"

<sup>2</sup> Facultad de Agronomía, UDELAR. Av. Garzón 780, Montevideo Uruguay. Tel: 598 2 3561251. E-mail: cclerici@fagro.edu.uy

<sup>3</sup> International Fertilizer Development Center

## Metodología

Las estimaciones de pérdidas de suelo por erosión se realizaron con el modelo USLE/RUSLE (Ecuación Universal de pérdida de suelo- Ecuación Universal de pérdida de suelo Revisada, Wischmeier y Smith, 1978; Renard. et al,1997). Una síntesis de los esfuerzos para validarlos en Uruguay, así como ejemplos de su utilización a diferentes escalas, pueden consultarse en Clérico y García Préchac (2001).

Las estimaciones se realizaron considerando 3% de pendiente y 100 m de largo de ladera, con todas las operaciones a favor de la pendiente.

Se consideraron tres suelos representativos de los más usados en agricultura en Uruguay: Pachic Argiudoll (CñN Brunosol), Fine, smectic, thermic, Typic Hapludert (La Carolina Vertisol) y Fine, smectic, thermic, Pachic Ariudoll (Young Brunosol).

Se simularon diferentes sistemas de producción, desde soja continua hasta rotaciones con pasturas con distinta intensidad de participación de soja en su fase de cultivos.

Se consideraron dos intensidades de laboreo: LR y SD.

Para cada combinación sistema-intensidad de laboreo, se estimó la tasa promedio anual de erosión generada y la contribución porcentual de cada componente (cultivo) a la misma.

Las estimaciones de Carbono orgánico fueron realizadas con el modelo CENTURY, que ha sido validado con los datos de los ensayos de larga duración de INIA-La Estanzuela (Baethgen et al., 1994). Las estimaciones fueron realizadas para 3 sistemas de producción durante los 24 años desde 1976 a 2000: SJSj: soja continua, TrSj: trigo-soja, CulPast: rotación maíz-soja-trigo-3 años de pradera, combinados con la utilización de LR o SD.

## Resultados y Discusión

El Cuadro 1 presenta estimaciones de tasas promedio anuales de erosión realizadas con USLE/RUSLE. En el sistema de soja continua, aun con SD, se obtienen estimaciones de erosión mayores a las tolerables. Si el sistema intercala un cultivo de cobertura o trigo en los inviernos entre los cultivos de soja y se hace con SD, lo que asegura suelo cubierto en el período invernal, la estimación de erosión se acerca a la tasa tolerable.

**Cuadro 1.** Estimaciones con USLE/RUSLE.

Rotación	Manejo	Unidad Suelo/Suelo	Pérdida (Mgr/há)
Soja Trigo	SD	CñN Brunosol	11.9
		Young. Brunosol	6.6
		La Carolina. Vertisol	7.7
	LR	CñN Brunosol	34.9
		Young. Brunosol	19.5
		La Carolina. Vertisol	22.6
Soja cont.	SD	CñN Brunosol	25,6
		Young. Brunosol	14.3
		La Carolina. Vertisol	16.6

		CñN Brunosol	45.0
	LR	Young. Brunosol	25.2
		La Carolina. Vertisol	29.2
		CñN Brunosol	13.7
	SD	Young Brunosol	7.7
		La Carolina. Vertisol	8.1
Soja-cobertura		CñN Brunosol	22.4
	LR	Young. Brunosol	12.5
		La Carolina. Vertisol	14.5
		CñN Brunosol	5.7
	SD	Young. Brunosol	3.2
		La Carolina. Vertisol	3.7
M-S-T/p-P-P		CñN Brunosol	10.4
	LR	Young. Brunosol	5.8
		La Carolina. Vertisol	6.7
		CñN Brunosol	4.9
	SD	Young. Brunosol	2.8
		La Carolina. Vertisol	3.2
M-S-T/p-P-P-P		CñN Brunosol	8.8
	LR	Young. Brunosol	5.0
		La Carolina. Vertisol	5.7
		CñN Brunosol	6.6
	SD	Young. Brunosol	3.7
		La Carolina. Vertisol	4.3
M-S-T-S-T/p-P-P		CñN Brunosol	12.6
	LR	Young. Brunosol	7.1
		La Carolina. Vertisol	8.2
		CñN Brunosol	5.7
	SD	Young. Brunosol	3.2
		La Carolina. Vertisol	3.7
M-S-T-S-T/p-P-P-P		CñN Brunosol	10.9
	LR	Young. Brunosol	6.1
		La Carolina. Vertisol	7.1

P = 1      Tolerancia(Mg/há) = 7      M = Maíz      P = Pradera  
L = 100 m      SD = Siembra Directa      S = Soja      Cob = Cobertura raigrás  
S = 3%      LR = Laboreo Reducido      T = Trigo

En cambio, para las rotaciones con pasturas de 2 ó 3 años de duración se estiman pérdidas de suelo por debajo de la tolerancia, tanto con LR como con SD. Si la secuencia de cultivos de la rotación con pasturas se alarga, con LR la tasa estimada supera ligeramente la tolerancia. Las combinaciones más erosivas agravan su efecto al incrementarse la erodabilidad del suelo.

El Cuadro 2 presenta la contribución de cada componente de la rotación a la tasa de erosión estimada. Ese clara la mayor participación del cultivo de soja a la misma. En promedio para todas los sistemas, el 62% de la erosión estimada fue determinado por el cultivo de soja, el 24% por el cultivo de maíz, 21% por el cultivo de trigo y 2% por las pasturas sembradas.

**Cuadro 2.** Participación porcentual de cada componente del sistema de producción a la tasa de erosión estimada.

Rotación	Manejo	Comp	% del total
Trigo Soja	SD	Trigo	16
		Soja	84
	LR	Trigo	39
		Soja	61
M-S-T/P-P-P	SD	Maíz	30
		Soja	58
		Trigo	7
	LR	Pasturas	4
		Maíz	27
		Soja	46
M-S-T-S-T/P-P-P	SD	Trigo	25
		Pasturas	2
		Maíz	19
	LR	Soja	69
		Trigo	9
		Pasturas	3
	SD	Maíz	19
		Soja	53
	LR	Trigo	27
		Pasturas	1

En el Cuadro 3, se presentan las simulaciones realizadas con el modelo CENTURY para dos de los suelos considerados en las estimaciones de erosión: Vertisol de La Carolina y Brunosol de Cañada Nieto. Para la realización de las mismas, se utilizó como input la tasa de erosión estimada con USLE/RUSLE. El modelo simula el CORG en g/m<sup>2</sup> hasta 20 cm de profundidad. Además, estima que cantidad de CORG es perdida por erosión. Los resultados del Cuadro 3 muestran que en todos los sistemas, las pérdidas porcentuales de CORG son mayores en el suelo de textura media que en el arcilloso. La pérdida de CORG es mayor con LR que con SD. La erosión explica un alto porcentaje de las pérdidas totales de carbono, entre 50 y 90 % en los sistemas de cultivos sin pasturas.

**Cuadro 3.** Simulaciones de Pérdidas de Carbono Orgánico

ROTACIÓN	MANEJO	TEXTURA	Cont. de C (g/m <sup>2</sup> ) Año 1	Cont. de C (g/m <sup>2</sup> ) Año 20	Balace de C Totales (g/m <sup>2</sup> )	Pérdidas C por Erosión (g/m <sup>2</sup> )	% Pérdidas por Erosión
TRIGO - SOJA	LABRANZA REDUCIDA	Franco	5067	3717	-1350	1197	89
		Arcilloso	8846	6639	-2207	1708	77
	SIEMBRA DIRECTA	Franco	5067	4186	-880	428	49
		Arcilloso	8846	7199	-1647	532	32
SOJA - SOJA	LABRANZA REDUCIDA	Franco	5067	3506	-1560	1555	100
		Arcilloso	8846	6210	-2636	2185	83
	SIEMBRA DIRECTA	Franco	5067	3875	-1191	913	77
		Arcilloso	8846	6666	-2180	1288	59
MAIZ-SOJA-TRIGO-4 años Pradera	LABRANZA REDUCIDA	Franco	4891	4901	+10	530	*
		Arcilloso	8553	8169	-385	766	*
	SIEMBRA DIRECTA	Franco	4891	5139	+248	273	*
		Arcilloso	8553	8409	-144	410	*

En el sistema de rotación con pasturas no se presenta el valor de la contribución porcentual de la erosión a la pérdida de CORG (\*) porque superan a dicha pérdidas. Esto se debe a que las pérdidas se concentran en la fase de cultivos y a que en la etapa de pasturas se producen ganancias, por lo que el resultado neto es el balance entre ambas. En el caso del suelo Franco, el resultado neto es ligeramente positivo y en el Arcilloso ligeramente negativo, en especial con SD. Esto se debe a que el contenido de CORG en equilibrio es menor a medida que se reducen las fracciones finas en la composición granulométrica (Pieri, 1989).

Esto es coincidente con los resultados obtenidos en el ensayo de larga duración de INIA-La Estanzuela (Díaz Roselló, 1992), sobre un Argiudol típico (horizonte A Franco arcillo limoso), en el que en la rotación cultivo-pasturas con laboreo durante 27 años, el CORG. bajó y subió acentuadamente durante las fases de cultivos arables y pasturas de la rotación, con ligera tendencia general a la pérdida (5 g.m<sup>2</sup>).

### Conclusiones

Los sistemas de agricultura continua con laboreo no son sostenibles en términos de la calidad del recurso suelo.

Aún con SD, en soja continua se estiman tasas de erosión por encima de las tolerables. Este problema tiende a corregirse al incluir un cultivo o cobertura de invierno entre los cultivos de soja.

Las rotaciones de cultivos y pasturas, con o sin laboreo, arrojan estimaciones de erosión por debajo de los niveles tolerables, salvo que la rotación alargue en demasía la fase de cultivos con alta participación de la soja.

Del análisis de la participación de cada cultivo en la erosión total generada en los sistemas de producción, surge la soja como el contribuyente mayoritario (62%).

La evolución del carbono orgánico en el período de simulación considerado pone de relieve la importancia de incluir pasturas en las rotaciones, independientemente de la intensidad de laboreo utilizada.

En los sistemas de rotación con pasturas se obtuvieron estimaciones de ligera ganancia neta de carbono orgánico en el horizonte Ap del suelo de textura Franca para el período considerado, mientras que en el arcilloso se estimó una ligera pérdida. Esto estaría indicando que en los suelos de texturas más pesadas la fase de pasturas debería ser algo más larga que la de cultivos en las rotaciones. Asimismo, este ejercicio, al igual que los resultados experimentales citados, destacan la contribución de las pasturas en los sistemas de producción para lograr efectiva captura de carbono en los suelos.

## Referencias

- Allmaras, R.R., G.W Langdale, P.W. Unger, R.H. Dowdy, and D.M. Van Doren .1991. Adoption of conservation tillage and associated planting systems. In Soil Management for Sustainability, R.Lal and F. J. Pierce, Editors, pp 53-83.
- Baethgen, W.E., A. Morón y R.M. Díaz Roselló. 1994. Modeling long-term soil organic carbon changes in six cropping systems of SW Uruguay. In Int. Soil Sci. Soc. Transcripts, Vol. 9: 300-302, Acapulco México.
- Clérici, C y F.García Préchac 2001. Aplicaciones del modelo USLE/RUSLE para estimar pérdidas de suelo por erosión en Uruguay y la región sur de la cuenca del Río de la Plata. Agrocienia. (Revista Científica de la Facultad de Agronomía - UDELAR). Montevideo, Uruguay. Vol. 5. N° 1. pp: 92 - 103.
- Díaz-Roselló, R. M. 1992. Evolución de la materia orgánica en rotaciones de cultivos con pasturas. Revista INIA-Uruguay Inv. Agr. 1, Tomo I. pp. 103-110.
- Pieri, Ch. 1989. Fertilité des terres de savanes. CIRAD-IRAT, Montpellier, France, 448p.
- Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. MC Cool and d.C. Yonder. 1997. Predicting soil Erosion by Water: A guide to Conservation Planningwith thwe Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), United States Departament of Agriculture, Agricultural Research Service, Agriculture Handbook N° 703.
- Shelton, D.P., E.C Dickey, P.J Jasa, M.C. Hirschi, and L.C. Brown.1992. Water erosion. In Conservation tillage systems and managements. Midwest Plan Service-MWPS-45 First Edition, pp.8-11.
- Terra, J.A. y F. García-Préchac (2001). Siembra directa y rotaciones forrajeras en las Lomadas del Este: Síntesis 1995-2000, INIA-Uruguay, Treinta y Tres, Serie Técnica. No. 125, pp. 100.
- Wischmeier, W.H. and D.D. Smith.1978. Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservatrion planning.USDA Agricultural Handbook N° 537, 58p.