

# ESTIMACIÓN DE RELACIONES DE PÉRDIDA DE SUELO PARA CULTIVOS HORTÍCOLAS EN EL SUR DE URUGUAY

Hill, M.<sup>1</sup>; Clérico, C.<sup>1</sup>; Mancassola, V.<sup>1</sup>; Sánchez, G.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía, Universidad de la República.  
Av. Garzón 780, Montevideo. C.P. 12900 Facultad de Agronomía.  
Correo electrónico: mancassola@fagro.edu.uy

## Palabras clave

Erosión; modelos; sostenibilidad.

## Introducción

La erosión de suelos es uno de los principales problemas ambientales en el Uruguay, relacionado a las actividades agropecuarias. En el caso de los sistemas de producción hortícolas el problema de la erosión tiene particularidades de gravedad. La disponibilidad de recursos, la evolución del mercado y las propuestas tecnológicas han llevado a los productores a una intensificación y especialización, en los que se destaca la ausencia de planificación del uso del suelo; donde una de las principales consecuencias ha sido el deterioro de la fertilidad del suelo (Dogliotti et al., 2005), por lo que para mantener los rendimientos se ha incrementado el uso de insumos y de riego. Este aumento de los costos de producción en un contexto de precios de los productos hortícolas decrecientes (CAMM, 2010), ha contribuido a disminuir el ingreso familiar, este proceso provoca la insustentabilidad de la mayoría de los sistemas actuales de producción de hortalizas en el sur de Uruguay (Dogliotti et al., 2006).

El diseño de sistemas con un manejo sostenible requiere contar con herramientas que permitan predecir el impacto que estos sistemas alternativos tendrán en las áreas económica, social, productiva y ambiental. Particularmente en el área ambiental, se cuenta con un modelo Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) (Wischmeier y Smith, 1978) y su versión revisada RUSLE (Renard et al., 1997) que permite evaluar 'exante' el efecto que diferentes sistemas alternativos de uso y manejo del suelo, tendrían sobre la erosión y compararlos con los sistemas actuales. Dicho modelo y su versión revisada, fueron desarrollados en EEUU para estimar tasas de erosión para combinaciones de localidad - suelo - topografía - uso y manejo. Es el más utilizado en el mundo como guía de la toma de decisiones en planificación del uso y manejo de suelos para minimizar la erosión y ha sido calibrado y validado para sistemas agrícolas extensivos y agrícolas pastoriles en Uruguay (Durán y García Préchac, 2007, Hill et al., 2008). El trabajo realizado con este modelo en el país, ha permitido elaborar un programa de computación (EROSION 6.0) que contiene la información disponible sobre todos los factores y las rutinas de cálculo, para facilitar su aplicación por los usuarios (García Préchac, et al., 2009). Sin embargo este modelo, hasta ahora, no se había adaptado para sistemas de producción hortícolas. A través de un proyecto financiado por el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca - Proyecto de Producción Responsable (MGAP-PPR), "Calibración del modelo USLE/RUSLE para estimar las pérdidas de suelo por erosión en sistemas de producción hortícolas y frutícolas", se realizaron determinaciones para levantar la limitante anterior y generar información para poder utilizar el modelo en sistemas hortícolas. Para el uso de la herramienta, a nivel nacional, es necesario determinar localmente valores de RPS para estimar el Factor C, ya que los cultivos hortícolas tienen particularidades, como: ser cultivados en surcos o camellones y mayoritariamente bajo riego.

El objetivo de este trabajo es presentar valores de relación de pérdida de suelo (RPS) de distintos cultivos hortícolas en sistemas de producción hortícolas convencional y conservacionista. Estas RPS se pueden utilizar para estimar el Factor C y así estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica en sistemas tradicionales y en sistemas alternativos más sustentables, así como en escenarios de cambio climático con aumento de erosividad de la lluvia, de manera de contribuir a la toma de decisiones a nivel predial.

## **Materiales y Métodos**

### **Suelo**

Las mediciones se realizaron en tres predios donde los suelos predominantes fueron Brunosoles éutricos y subéutricos típicos (Paquic vertic Argiudolls), correspondientes a las unidades de suelo de la Carta de Reconocimiento de suelos del Uruguay escala 1:1.000.000 (MGAP-DSF, 1976) Toledo, Tala Rodríguez y Ecilda Paullier-Las Brujas. En estos suelos el porcentaje de materia orgánica de 0 a 20 cm de profundidad, se encontró entre 1.3 y 2.4%. Estos suelos en condiciones naturales presentan un rango de materia orgánica de 3.1 a 8.2% (URUGUAY. MAP. DS, citado por Silva, 1998), por lo que presentan degradación.

### **Estimación de la pérdida de suelo: Modelo USLE y su versión revisada RUSLE**

El modelo se basa en la ecuación:  $A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$ , donde A, es la pérdida de suelo promedio anual por unidad de superficie y se expresa en  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . El Factor R, erosividad de la lluvia, es el producto acumulado promedio anual de la energía cinética por la máxima intensidad de las lluvias erosivas en 30 minutos mayores a 13 mm, en  $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ hr}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . El Factor K, erodabilidad del suelo, es la cantidad promedio de suelo perdido por unidad de Factor R ( $\text{Mg hr}^{-1} \text{ año}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ), cuando el suelo en cuestión es mantenido permanentemente desnudo, con laboreo secundario a favor de la pendiente. Los demás factores son relaciones a estándares sin unidades. El Factor L, longitud de la pendiente, es la relación entre la erosión con una longitud de pendiente dada y la que ocurre en el estándar de 22.1 m de longitud, a igualdad de los demás factores. El Factor S, inclinación de la pendiente, es la relación entre la erosión con una inclinación de pendiente dada y la que ocurre en el estándar de 9% de inclinación, a igualdad de los demás factores. El Factor C, uso y manejo, es la relación promedio anual entre la erosión de un suelo con un determinado sistema de uso y manejo y la que ocurre en las condiciones estándar en que se definió el Factor K, a igualdad de los demás factores. El Factor P, práctica mecánica de apoyo es la relación entre la erosión que ocurre con una determinada práctica mecánica de apoyo y la que ocurre con la condición estándar de laboreo a favor de la pendiente, a igualdad de los demás factores (Wischmeier y Smith, 1978) .

### **Determinación de la RPS**

Para el cálculo del Factor C, es necesario determinar la Relación de Pérdida de suelo (RPS) a partir de la versión revisada RUSLE (Renard et al. 1997). Con la ecuación:  $RPS = UP \cdot CV \cdot CR \cdot R \cdot CA$ . Donde: UP = subfactor uso previo; CV = subfactor cobertura vegetal; CR = subfactor cobertura por residuos; R = subfactor rugosidad superficial y CA = subfactor contenido de agua. Para el cálculo de los subfactores se midió la fracción de la superficie cubierta por la parte aérea de la vegetación (Stocking, 1988), la altura de la vegetación, la superficie cubierta por residuos (Hartwig y Laflen, 1978) y la rugosidad al azar (ARS-USDA, 1966). A su vez se tomó de tablas la masa de raíces vivas (ARS-USDA, 1966; Dogliotti, 2003) y el subfactor contenido de agua en el suelo se consideró 1 para cultivos con riego y 0.5 para cultivos en secano. En este sentido, el cultivo de boniato se realizó en secano y el resto de los cultivos con riego.

El trabajo de campo se realizó durante los años 2008 y 2009, en tres predios. Como los cultivos se realizaron en camellones, se determinó la superficie ocupada resultando en un 55% y 45% para camellón y entresurco respectivamente. Las mediciones de los subfactores se realizaron por separado de surco y entresurco. En todos los predios se realizó laboreo convencional. Los sistemas de producción de los predios fueron: rotación hortícola conservacionista (cultivos con abonos verdes), rotación hortícola-pastoril (cultivos con abonos verdes y pradera) y hortícola convencional (secuencias de cultivos).

### **Cultivos en los que se hicieron las mediciones**

Los sistemas de producción hortícola, a diferencia de otros, se caracterizan por incluir familias botánicas contrastantes. Algunas diferencias se encuentran en: los productos a ser cosechados (hojas, raíces, tubérculos, frutos e inflorescencias), la arquitectura de la planta (forma y tamaño de las hojas, altura), masa radicular, manejo de los cultivos, capacidad del cultivo para competir con malezas, época del año, número de cultivos que se realizan por año, siembra de semilla o trasplante, siembra o cosecha escalonada o concentrada. En algunos cultivos la cosecha se pudo prolongar o acortar debido a las condiciones climáticas (temperatura, ocurrencia de heladas provocando el fin del cultivo).

Las mediciones se realizaron en 15 cultivos y por tratarse de cultivos de ciclo corto (90-140 días) las mediciones se realizaron cada quince días. Los cultivos donde se hicieron las mediciones fueron: Apio (*Apium graveolens*), Arvejas (*Phaseolus vulgaris*); Boniato (*Ipomoea batatas*); Brócoli (*Brassica olerácea* var. *Itálica*); Cebolla (*Allium cepa*); Coliflor (*Brassica olerácea* var. *Botrytis*); Espinaca (*Spinaca olerácea* L.); Habas (*Vicia faba*); Lechuga (*Lactuca sativa* L.); Melón (*Cucumis melo*); Puerro (*Allium porrum*); Repollo (*Brassica olerácea* var. *Capitata*); Tomate (*Lycopersicon esculentum*); Zanahoria (*Daucus carota*); Zapallito (*Cucurbita máxima*) (Aldabe, 2000).

### **Periodo USLE de los cultivos**

El periodo USLE corresponde a las fases de desarrollo de un cultivo al que le podemos atribuir un mismo nivel de protección del suelo, de acuerdo al porcentaje de follaje que cubre el suelo, cultivo, clima, manejo, etc. (Puentes y Szogi, 1983; García Prechac, 1992). Un periodo USLE característico contendrá el promedio de una o varias RPS para surco y entresurco.

### **Resultados y Discusión**

Los periodos incluyen un periodo 0 que corresponde al laboreo primario, secundario y encamellonado. El periodo 1 indica la instalación del cultivo con siembra o trasplante hasta la primera etapa de crecimiento del cultivo. El periodo 2 incluye desde el crecimiento del cultivo hasta pleno desarrollo. El periodo 3 abarca desde pleno desarrollo hasta el fin de la cosecha que puede ser escalonada o concentrada. El último, es el periodo 4, que incluye desde el fin de la cosecha y el periodo con rastrojo. Este último periodo, varía de acuerdo al sistema hortícola, en los más intensivos el periodo entre fin de cosecha-rastrojo y nuevo laboreo es inmediato, en cambio en los de ciclos más largos se enmaleza y puede estar en esta condición por 3-4 meses hasta el próximo laboreo (Cuadro 1). En cada periodo el porcentaje de cobertura vegetal y el largo del ciclo (días) es particular de cada cultivo. Sin embargo, el porcentaje de residuos promedio para sistemas conservacionistas fue de 19 y 17 % y en sistemas convencionales fue de 6 y 5 % para surco y entresurco respectivamente, aportando las diferencias en el periodo 0, esto indicaría la importancia del manejo en general del sistema y no sólo del cultivo en particular.

Cuadro 1. Valores de RPS para surco y entresurco según periodo, para cada cultivo y manejo.

Cultivo / Manejo	Periodo USLE	0	1	2	3	4
Tomate encañado Conservacionista	Período días	0	38	101	149	176
	RPS surco	0,294	0,240	0,152	0,121	0,028
	RPS entresurco	0,381	0,325	0,139	0,072	0,028
Tomate encañado Convencional	Período días	0	30	87	129	143
	RPS surco	0,398	0,315	0,286	0,135	0,364
	RPS entresurco	0,485	0,460	0,190	0,245	0,364
Morrón Conservacionista	Período días	0	40	130	150	200
	RPS surco	0,398	0,346	0,081	0,154	0,122
	RPS entresurco	0,485	0,496	0,226	0,161	0,214
Boniato Conservacionista	Período días	0	50	125	130	190
	RPS surco	0,374	0,350	0,018	0,422	0,412
	RPS entresurco	0,390	0,385	0,107	0,422	0,404
Melón Conservacionista	Período días	0	29	101	129	173
	RPS surco	0,293	0,058	0,016	0,036	0,024
	RPS entresurco	0,381	0,087	0,017	0,038	0,024
Zapallito Conservacionista	Período días	0	49	105	119	135
	RPS surco	0,293	0,047	0,029	0,148	0,274
	RPS entresurco	0,381	0,037	0,039	0,153	0,274
Zapallito Convencional	Período días	0	34	121	164	207
	RPS surco	0,397	0,117	0,059	0,223	0,387
	RPS entresurco	0,485	0,234	0,159	0,273	0,387
Puerro Convencional	Período días	0	11	71	163	228
	RPS surco	0,397	0,426	0,183	0,112	0,251
	RPS entresurco	0,485	0,500	0,348	0,240	0,176
Cebolla Conservacionista	Período días	0	70	90	130	149
	RPS surco	0,391	0,374	0,153	0,044	0,188
	RPS entresurco	0,455	0,406	0,367	0,107	0,264
Zanahoria Conservacionista	Período días	0	30	108	126	138
	RPS surco	0,293	0,276	0,002	0,425	0,273
	RPS entresurco	0,381	0,157	0,075	0,030	0,197
Arvejas y Habas Conservacionista	Período días	0	14	80	122	182
	RPS surco	0,293	0,295	0,144	0,068	0,028
	RPS entresurco	0,381	0,500	0,316	0,086	0,039
Brocoli Conservacionista y Convencional	Período días	0	20	85	110	113
	RPS surco	0,398	0,180	0,342	0,259	0,105
	RPS entresurco	0,485	0,477	0,500	0,220	0,230
Coliflor Conservacionista y Convencional	Período días	0	20	40	120	160
	RPS surco	0,398	0,346	0,081	0,154	0,220
	RPS entresurco	0,485	0,496	0,226	0,161	0,214
Repollo Convencional	Período días	0	20	40	70	80
	RPS surco	0,398	0,435	0,138	0,073	0,122
	RPS entresurco	0,485	0,472	0,435	0,173	0,214

Cuadro 1 (continuación). Valores de RPS para surco y entresurco según periodo, para cada cultivo y manejo.

Cultivo / Manejo	Periodo USLE	0	1	2	3	4
Lechuga Conservacionista	Periodo días	0	13	59	122	137
	RPS surco	0,294	0,407	0,162	0,186	0,390
	RPS entresurco	0,381	0,353	0,261	0,196	0,325
	Periodo días	0	40	50	85	110
Espinaca Convencional	RPS surco	0,398	0,442	0,179	0,047	0,286
	RPS entresurco	0,485	0,464	0,404	0,268	0,352
	Periodo días	0	16	56	105	120
Apio Convencional	RPS surco	0,397	0,429	0,216	0,415	0,176
	RPS entresurco	0,485	0,454	0,425	0,184	0,194

## Conclusiones

Los resultados de RPS de 15 cultivos hortícolas medidos a campo durante 2 años se encuentran en valores mínimos de 0,002 (en el periodo 2) y máximos de 0,442 (en el periodo 1) para surco y valores de mínimos de 0,017 (en el periodo 2) y máximos de 0,500 (en los periodos 1 y 2) para entresurco.

Se pudieron observar algunas diferencias entre sistemas de manejo, en el porcentaje promedio de residuos para sistemas conservacionistas fue de 19 y 17 % y en sistemas convencionales fue de 6 y 5 % para surco y entresurco respectivamente, esta diferencia se destaca y es importante en el periodo 0, por lo que demuestra la importancia del sistema de manejo en general y no sólo el cultivo en particular.

Las diferencias de valores de RPS más bajos se dieron en cultivos de ciclo corto de rápido crecimiento y que cubren surco y entresurco, o en el surco y el entresurco se enmaleza. En cambio las RPS más altas se observaron en cultivos de lento crecimiento donde la arquitectura de la planta no cubre el surco y entresurco, por lo que compiten mal con malezas y para su instalación el surco se mantiene libre de estas, por lo que en estos cultivos independientemente del sistema convencional o conservacionista se van a registrar RPS altas.

Los periodos críticos son el 0 y 1 en los que se prepara el suelo y se instalan los cultivos, algunos cultivos de semilla y otros de trasplante. Otro momento crítico es la cosecha donde para algunos cultivos se extrae la planta entera (apio, espinaca, cebolla) o se realiza el volteo del surco como en el cultivo de boniato.

Por último, las RPS de los cultivos hortícolas están ligadas a las particularidades de cada cultivo y la utilidad de estos valores está en considerar estas características. Estos valores de RPS se podrán utilizar para la estimación del Factor C de los distintos sistemas hortícolas para ser utilizados en la estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica por medio del programa EROSION 6.0, tanto en sistemas convencionales como en sistemas alternativos más sustentables. También en escenarios de cambio climático con aumento de erosividad de la lluvia, de manera de contribuir a la toma de decisiones a nivel predial.

## Agradecimientos

Al Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca - Proyecto Producción Responsable por la financiación del proyecto de investigación que dio lugar a este trabajo.

Al Proyecto EULACIAS y a sus integrantes que aportaron los predios en los que se realizaron las mediciones así como el apoyo para la ejecución del mismo.

## Bibliografía

- Aldabe, L. 2000. Producción de hortalizas en Uruguay. Ed. Épsilon. Montevideo. 269 p.
- ARS-USDA, 1966. Total porosity and random roughness of the interrowzone as influenced by tillage. Cons. Res. Report N° 7, 22p.
- CAMM, 2010. Comisión administradora del Mercado Modelo. [\[En línea\]](#): Consultado diciembre de 2010. Disponible. <http://chasque.net/CAMM>
- Dogliotti, S. 2006. Proyecto INIA - FPTA. Diseño, Implementación y evaluación de sistemas de producción sostenibles en la zona Sur del Uruguay.
- Dogliotti, S., Van Ittersum, M.K., Rossing W.A.H. 2005. Exploring options for sustainable development at farm scale: a case study for vegetable farms in South Uruguay. *Agricultural Systems*, v. 86 , pp. 29-51.
- Dogliotti, S. 2003. Exploring options for sustainable development of vegetable farms in South Uruguay. [Tesis de doctorado]. Wageningen: Wageningen University. 145p. [\[En línea\]](#): Consultado diciembre de 2010. Disponible. <http://edepot.wur.nl/121458>
- Durán, A. y García Préchac, F. 2007. Suelos del Uruguay. Origen, clasificación, manejo y conservación. Vol II. Ed., Hemisferio Sur. Montevideo. Uruguay. pp. 58:89.
- García Préchac, F. 1992. Conservación de suelos. Guía para la toma de decisiones en conservación de suelos: 3a aproximación. Serie Técnica N° 26. INIA. Uruguay. 64p.
- García Préchac, F. , Hill, M., Clérical, C. y Hill, E. 2009. EROSION versión 6.0, Programa de computación para el uso de la USLE/RUSLE en la Región Sur de la Cuenca del Plata. Versión operativa en Windows. DINAMA-UNDP. Proyecto URU/03/G31 y CSIC, Dpto. de Suelo y Aguas. Manejo y Conservación. [\[En línea\]](#): Consultado mayo 2009. Disponible. <http://www.fagro.edu.uy/~manejo/>
- Hartwig, R.O.; J.M. Laflen, 1978. A meterstick method for measuring crop residue cover. *Journal of Soil and Water Conservation* . 32: 260-264. 5p.
- Hill, M, García Prechac, F, Terra, J y Sawchik, J. 2008. Incorporación del efecto del contenido de agua en el suelo en el modelo USLE/RUSLE para estimar erosión en Uruguay. *Agrociencia*. (Revista Científica de la Facultad de Agronomía - UDELAR). Montevideo. Uruguay. Vol. XII. N° 2. pp. 57 - 67.
- MGAP - DSF, 1976. Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay. Tomo III. Descripción de las unidades de suelos, Min. de Agric. Y Pesca / Dirección de Suelos y Fertilizante. Montevideo, Uruguay, 452p.
- Puentes, R.; Szogi, A. 1983. Manual para la utilización de la Ecuación universal de pérdidas de suelo en el Uruguay. Serie: Normas técnicas en conservación de suelos N° 1. Ministerio de Agricultura y Pesca. Dirección de suelos. Montevideo. 80p.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G. A., Mc Cool, D.K. and Yonder, D.C. 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). United State Department of Agriculture. Agricultural Research Service. Agriculture Handbook Number 703.
- Silva, A. 1998. La materia orgánica del suelo. Montevideo, Facultad de Agronomía. 34p.
- Stocking, M. A., 1988. Assessing vegetative cover and management effects. In R. LAL (Ed.) *Soil erosion research methods*, SWCS-ISSS, pp. 163-185.
- Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning. USDA Agricultural Handbook N° 537, 58p.