

**NOTA TÉCNICA****Estimación de la relación de pérdida de suelo (RPS) para cultivos hortícolas en el sur de Uruguay**Mancassola Victoria<sup>1</sup>, Hill Mariana<sup>1</sup>, Clérico Carlos<sup>1</sup>, Sánchez Gabriela<sup>1</sup><sup>1</sup>Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos y Aguas. Avenida Garzón 780, 12900 Montevideo, Uruguay. Correo electrónico: mancassola@fagro.edu.uy

Recibido: 2/11/14 Aceptado: 20/9/16

**Resumen**

La mayoría de los sistemas de producción hortícola del sur de Uruguay son poco sustentables, debido fundamentalmente a problemas de erosión hídrica. La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) es una herramienta que permite estimar pérdidas de suelo. Ha sido adaptada y validada para algunos sistemas extensivos, forestales y pastoriles en Uruguay, pero no para sistemas hortícolas. A través de la versión revisada RUSLE (Renard *et al.*, 1997), se estimaron las relaciones de pérdida de suelo (RPS) para horticultura. Las mediciones se realizaron en tres predios hortícolas (rotación hortícola-ganadera, rotación hortícola y hortícola convencional) durante los años 2008 y 2009. El objetivo de este trabajo fue estimar las RPS de 16 cultivos hortícolas, de sistemas productivos convencionales y conservacionistas. Los valores de RPS variaron dependiendo del cultivo, siendo que los más altos (máximo 0,5) se encontraron en los períodos USLE 0, 1 y 4 (para cultivos en que se extrae la planta entera o se voltea el camellón), y en cultivos que no cubren el camellón y el entresurco. Los valores más bajos estuvieron asociados a cultivos de ciclo corto y rápido crecimiento, que cubren el camellón y el entresurco, y en que la planta permanece luego de la cosecha hasta el laboreo siguiente. Los valores de RPS estimados se podrán emplear para la estimación del Factor C de los distintos sistemas hortícolas a ser utilizados en el programa EROSION 6.0, para calcular la pérdida de suelo por erosión hídrica. Esta herramienta facilita la toma de decisiones y evaluación de sistemas productivos existentes y alternativos, en condiciones de cambio climático, para un manejo sostenible.

**Palabras clave:** erosión, modelos, sostenibilidad, horticultura**Summary****Estimation of Soil Loss Ratio (SLR) for Horticultural Crops in Southern Uruguay**

Most of the horticultural production systems in southern Uruguay are unsustainable, mainly because of water erosion problems. The Universal Soil Loss Equation (USLE) is a tool to estimate soil loss. It has been adapted and validated for extensive, forestry and pasture systems in Uruguay, but not for horticultural systems. Through the revised RUSLE version (Renard *et al.*, 1997) the soil loss relations (SLR) for horticultural crops were estimated. Measurements were made in three horticultural systems (livestock- horticultural rotation, horticultural rotation, and conventional horticulture) during 2008 and 2009. The aim of this study was to estimate the SLR for 16 horticultural crops, for conventional and conservationist production systems. SLR values varied depending on the crop, the highest values (maximum 0.5) were found in USLE periods 0, 1 and 4 (for crops where entire plant is harvested or where the furrow is turned), and crops that do not cover the furrow and the interrow. The lower values were associated with short cycle crops, that rapidly cover the furrow and interrow, and where the plant remains after the harvest until the next tillage. SLR values could be employed to estimate the C Factor of different horticultural systems to be used in the EROSION 6.0 program to calculate soil loss by water erosion. This tool facilitates decision-making in the design and evaluation of existing and alternative production systems under conditions of climate change for sustainable management.

**Keywords:** erosion, models, sustainability, horticulture

## Introducción

La erosión hídrica de los suelos es uno de los problemas más serios relacionados a los recursos naturales en Uruguay, debido principalmente a las actividades agropecuarias (DINAMA y RENARE, 2000). De acuerdo a lo informado por el Plan de acción nacional contra la desertificación y sequía del año 2005 (DINAMA y RENARE, 2005), del total de la superficie del país el 30,1 % está afectado por erosión y el 2,9 % tiene cárcavas. El agente erosivo predominante es el hídrico, y la superficie afectada, se puede distinguir en leve (18,3 %), moderada (9,9 %) y severa (1,3 %). Si se diferencia según el sistema productivo, el 87 % de la superficie afectada es causada por uso agrícola y hortifrutícola, el 12 % por pastoreo y quemas, y alrededor de 1 % por deforestación y otros usos. Los sistemas hortifrutícolas se encuentran cercanos al mercado, en una menor área en el litoral norte del país, y en mayor superficie en Canelones y Montevideo, donde debido a producción intensiva y a la tecnología empleada a lo largo de la historia se favorecieron los procesos de erosión. Un ejemplo de estos efectos se puede encontrar en el noreste de Canelones donde en el pasado se produjo remolacha azucarera (DINAMA y RENARE, 2005).

Por lo expuesto, en los sistemas de producción hortícolas, el problema de la erosión es grave. La disponibilidad de recursos, la evolución del mercado y las propuestas tecnológicas han llevado a los productores a una intensificación y especialización, en que se destaca la ausencia de planificación del uso del suelo. Una de las principales consecuencias ha sido el deterioro de la fertilidad del suelo (Dogliotti *et al.*, 2005). Para mantener los rendimientos, se ha incrementado el uso de insumos y de riego, con el consiguiente aumento de los costos de producción. En un contexto de precios decrecientes en valores constantes para los principales productos hortícolas, esto ha llevado a la disminución del ingreso familiar, así como a la insustentabilidad de la mayoría de los sistemas actuales de producción de hortalizas en el sur de Uruguay (Dogliotti *et al.*, 2006, 2012).

Para rediseñar sistemas más sustentables se debe considerar otra de las particularidades de los sistemas hortícolas: la diversidad de familias botánicas. Algunas de estas diferencias son: 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 y época del año.

A modo de ejemplo, el proyecto EULACIAS (European Latin-American Project for Co-Innovation of Agro-ecosyste-

ms), que tenía como objetivo principal el re-diseño y evaluación de sistemas de producción intensivos sustentables (EULACIAS, 2009; Dogliotti *et al.*, 2012), propuso herramientas de planificación del uso del suelo en el mediano y largo plazo, introduciendo medidas conservacionistas (regulación de pendientes y largo de laderas, rotación con abonos verdes y/o pasturas).

Para planificar el diseño de sistemas de producción, es necesario contar con herramientas que permitan predecir el impacto que estos sistemas alternativos tendrán en diversas áreas. En el área ambiental, se cuenta con un modelo denominado 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. Este 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 suelo para minimizar la erosión, y ha sido calibrado y validado para sistemas agrícolas extensivos, forestales y agrícolas pastoriles en Uruguay (Durán y García Préchac, 2013; Hill *et al.*, 2008). El trabajo realizado con este modelo en el país ha permitido elaborar un programa digital (EROSION 6.0) que contiene la información disponible sobre todos los factores y las rutinas de cálculo para facilitar su aplicación por los usuarios. Sin embargo este modelo, hasta ahora, no se ha adaptado para sistemas de producción hortícolas.

El modelo se basa en la Ecuación 1 (Wischmeier y Smith, 1978):

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (1)$$

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 el EI30 (la máxima intensidad de las lluvias erosivas en 30 minutos mayores a 13 mm), en  $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ hr}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ; y 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, se define como 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. Se entiende por uso los cultivos o pasturas que se realizan, y por manejo del suelo (intensidad y tipo de laboreo) y manejo del cultivo (fecha y densidad de siembra, fertilización, etc.) que afectarán la producción de biomasa por el cultivo en función del tiempo, la cobertura por la parte aérea, los residuos y el aporte de raíces en la superficie del suelo (Durán y García Préchac, 2013). 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).

Para estimar el Factor C es necesario estimar la RPS (relación de pérdida de suelo) para cada período USLE. Donde el período USLE corresponde a las fases de desarrollo del cultivo, al que le podemos atribuir un mismo nivel de protección del suelo, de acuerdo al porcentaje de follaje que lo cubre, el cultivo, clima, manejo, etc. (Puentes y Szogi, 1983; García Préchac, 1992). Un período USLE contendrá el promedio de una o varias RPS para camellón y entresurco respectivamente.

La relación de pérdida de suelo (RPS) se estima a partir de la versión revisada RUSLE (Renard *et al.*, 1997), expresada como lo indica la Ecuación 2. Las ecuaciones de los subfactores que componen la Ecuación 2 se encuentran parametrizadas en unidades inglesas, por lo que las medidas a campo se deben transformar a estas unidades para ser utilizadas (Denis Lepiane y García Préchac, 1997). La RPS hace referencia a la relación de pérdida de suelo entre un suelo con un uso y manejo particular, y ese mismo suelo en condiciones máximas de erosión (mantenido permanentemente desnudo y con laboreo secundario a favor de la pendiente), el máximo valor de RPS es 1.

$$RPS = UP \cdot CV \cdot CR \cdot R \cdot CA \quad (2)$$

donde:

UP = EXP((- 0,00053) \* Var 1) subfactor uso previo  
 CV = 1 - Var 2 \* EXP (- 0,1 \* Var 3) subfactor cobertura vegetal  
 CR = EXP [- 0,03 \* Var 4 \* (6/(6+N))^0,08] subfactor cobertura por residuos

(donde N = (25,4 \* Var5 - 6) \* [1-EXP (- 0,0015 \* Var1)]\*EXP (- 0,14 \* Var 6)  
 R = EXP (- 0,026 \* N) subfactor rugosidad superficial  
 CA = Var 7 subfactor contenido de agua

donde:

Var 1: Masa de raíces vivas  
 Var 2: Fracción de la cobertura del suelo por vegetación (Stocking, 1988)  
 Var 3: Altura de la vegetación  
 Var 4: Porcentaje de la superficie cubierta por residuos (Hartwig y Lafren, 1978)  
 Var 5: Rugosidad al azar (que es la desviación típica de una muestra de las alturas de puntos del terreno respecto a una altura de referencia) (Allmaras *et al.*, 1966)  
 Var 6: Lluvia desde último laboreo  
 Var 7: Proporción del contenido de agua disponible para las plantas en el suelo hasta 1,5 m de profundidad, si es igual o mayor a la capacidad de campo se le asigna el valor de 1.

Por lo tanto para estimar el Factor C se pondera la RPS de cada período USLE por la fracción del EI30 y el valor para contenido de agua (ambos correspondientes a los meses ocupados por el período USLE correspondiente del cultivo) dando como resultado el Factor C de cada período. Sumados estos resultados para el total de los cultivos de la rotación, se ponderaron primero por los años de la rotación, y luego por la superficie ocupada por el camellón (Ecuación 3) y el entresurco (Ecuación 4). Para los verdeos y pasturas se utilizaron los valores del Factor C obtenidos en las calibraciones del modelo realizadas para agricultura y pasturas de Durán y García Préchac (2013), y se ponderaron por la superficie ocupada por el camellón y el entresurco respectivamente, de la misma forma que los cultivos hortícolas. La suma de los valores del Factor C (FC) del camellón y del entresurco dio como resultado el Factor C del sistema evaluado (Ecuación 5). El valor de Factor C para ese sistema en particular, es el que se utilizó para estimar la pérdida de suelo A con el programa EROSION 6.0.

$$FC_{\text{camellón}} = \left[ \sum (EI30_{\text{camellón}} \cdot \text{cont de agua}_{\text{camellón}} \cdot RPS_{\text{camellón}}) \right] \cdot \text{años}_{\text{rotación}}^{-1} \cdot \text{Sup}_{\text{camellón}} \cdot \%^{-1} \quad (3)$$

$$FC_{\text{entresurco}} = \left[ \sum (EI30_{\text{entresurco}} \cdot \text{cont de agua}_{\text{entresurco}} \cdot RPS_{\text{entresurco}}) \right] \cdot \text{años}_{\text{rotación}}^{-1} \cdot \text{Sup}_{\text{entresurco}} \cdot \%^{-1} \quad (4)$$

$$\text{Factor C SISTEMA} = FC_{\text{camellón}} + FC_{\text{entresurco}} \quad (5)$$

A través de un proyecto de Facultad de Agronomía 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 generar información para ser utilizada en sistemas hortícolas. Para el uso del modelo a nivel nacional, es necesario determinar localmente valores de relación de pérdida de suelo (RPS) con la versión revisada RUSLE (Renard *et al.*, 1997), para luego estimar el Factor C, ya que los cultivos hortícolas tienen algunas particularidades: son plantados en camellones, la mitad bajo riego, y mayormente sobre suelos degradados.

El objetivo de este trabajo fue estimar las RPS de 16 cultivos hortícolas comerciales en sistemas de producción hortícolas convencional y conservacionista. Estas RPS podrán ser utilizadas 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

### Suelos de los sitios muestreados

Las mediciones se realizaron en tres predios. Las descripciones a campo se hicieron con taladro holandés; de los análisis de laboratorio surge que los suelos de los predios 1 y 2 se correspondieron con un Brunosol subéutrico típico FrAc (Paquic vertic Argiudolls según clasificación del Soil Taxonomy, Durán *et al.*, 1999), y en el predio 3 con un Brunosol subéutrico lúvico Fr (Abruptic Argiudolls según clasificación del Soil Taxonomy, Durán *et al.*, 1999). Estos se asemejan a la descripción de los suelos representativos de las unidades de suelo Tala Rodríguez, Ecilda Paullier-Las Brujas y Toledo respectivamente, de la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay a escala 1:1.000.000 (MAP, 1976).

El porcentaje de materia orgánica de 0 a 20 cm de profundidad, en los suelos donde se realizaron las mediciones, fue entre 1,3 y 2,4 %. Estos suelos, en condiciones naturales, presentan un rango de materia orgánica de 3,1 a 8,2 % (Silva, 1998), por lo que puede inferirse que presentan una importante degradación ya que han perdido 67 % de su materia orgánica.

Para el cálculo de los subfactores (CV, CR y R) se midieron cada uno con dos repeticiones en el camellón y dos repeticiones en el entresurco. Para calcular los subfactores, las medidas registradas, se pasaron a unidades inglesas. Para medir la cobertura vegetal y la rugosidad, se utilizó un rugosímetro, que es una barra con 33 orificios (la distancia de centro a centro es de 5 cm y de 1 cm de diámetro). En esa barra con orificios se colocaron las varillas para medir rugosidad, esto se hizo midiendo con una cinta métrica la distancia que cada varilla tenía entre la barra del rugosímetro -como referencia- y el suelo. Por lo que la rugosidad al azar (Allmaras *et al.*, 1966) se midió en transectas de 1,6 m de longitud con 33 observaciones separadas 5 cm entre ellas, para los cálculos se expresa en pulgadas y luego se realiza la desviación típica.

Para medir la fracción de la superficie cubierta por la parte aérea de la vegetación (Stocking, 1988) se utilizó el rugosímetro en transectas de 1,6 m de longitud, se sacaron las varillas y se observó la presencia de vegetación (total o parcial valor = 1) o ausencia de vegetación (valor = 0); se observó un orificio cada dos, por lo que la distancia entre medidas fue de 10 cm. La altura de la vegetación se midió con una cinta métrica, en una muestra compuesta por seis mediciones, para los cálculos se expresa en pies. La superficie cubierta por residuos (Hartwig y Lafen, 1978) también fue una muestra compuesta por seis mediciones realizadas en transectas de 1 m con una cinta métrica, expresada en porcentaje. A su vez, se tomó de tablas la masa de raíces vivas (Dogliotti, 2003) y se expresaron en lb. acre<sup>-1</sup>. in<sup>-1</sup>. En relación a las masas de raíces para los 16 cultivos hortícolas, en general la información resultó limitada, en el caso de zanahoria y boniato se realizaron estimaciones a partir de publicaciones del curso de horticultura de la Facultad de Agronomía. En las determinaciones de uso previo, sólo se utilizó el valor de las raíces vivas de acuerdo al ciclo del cultivo en el momento de medida. No se incluyeron valores de material muerto incorporado, ni la descomposición del mismo. El subfactor contenido de agua en el suelo (fracción de agua disponible), 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 todos los predios se realizó laboreo convencional, que consistió en arada como laboreo primario y como laboreo secundario rastras de discos y de dientes y encamellado. Las dimensiones de los camellones en los tres pre-

dios son similares, respondiendo a características de los implementos utilizados, el ancho del camellón fue de 0,90 m y el ancho del entresurco de 0,85 m. Del promedio de todos los cultivos, surge que la superficie ocupada por el camellón y el entresurco fue de 55 % y 45 % respectivamente.

Los sistemas de producción de los predios fueron: predio 1 rotación hortícola ganadera (RHG), cultivos con abonos verdes incorporados al suelo y pradera (por ejemplo rotación de siete años: alfalfa, avena, tomate, cebolla, avena y melón); predio 2 rotación hortícola (RH), cultivos con abonos verdes (por ejemplo rotación de tres años: coliflor, moha, cebolla, avena y tomate); y predio 3 hortícola convencional (HC), por ejemplo secuencia de cultivos de tres años: tomate, espinaca, brócoli y repollo.

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

Las mediciones se realizaron en 16 cultivos comerciales cada quince días, por tratarse de cultivos de ciclo corto (90 - 140 días). En algunos cultivos la cosecha se pudo prolongar o acortar, debido a las condiciones climáticas (temperatura, ocurrencia de heladas). Los cultivos de ciclo corto y siembra escalonada permitieron medir más de un cultivo por año (brócoli, espinaca, apio, etc.), en cambio en los de ciclo largo de cosecha concentrada (boniato) o escalonada (tomate de mesa) las mediciones se realizaron en un mismo cultivo por año (Cuadro 1).

En los abonos verdes y praderas no se hicieron mediciones, se tomaron los valores del Factor C obtenidos en las calibraciones del modelo realizadas para agricultura y pasturas de Durán y García Préchac (2013).

#### Períodos USLE de los cultivos

La forma de asignación del período USLE consistió en que, una vez concluido el seguimiento de un cultivo en una parcela, se graficaron los valores estimados de RPS para cada medición a campo en función de los días del ciclo del cultivo, y se procedió de la misma forma con las medidas de ese cultivo en otras parcelas. Conjuntamente con las etapas fenológicas que se registraron, se definió cada fase para ese cultivo (0, 1, 2, 3 y 4), y de esta forma se estimaron las RPS para cada período USLE y se expresó en días cuando comenzó cada uno de esos períodos.

Se definieron cuatro períodos (Cuadro 2). El período 0 corresponde al laboreo primario, secundario y encamellado. El período 1, abarca desde la instalación del cultivo con siembra o trasplante hasta la primera etapa de crecimiento del cultivo. El período 2 incluye desde el crecimiento del cultivo hasta pleno desarrollo. El período 3, abarca desde pleno desarrollo hasta el fin de la cosecha, que puede ser escalonada o concentrada.

El último es el período 4, incluye desde el fin de la cosecha hasta el tiempo que se deje el rastrojo en la parcela.

**Cuadro 1.** Especies en las que se realizaron mediciones y N° de cultivos por especie en las que se hicieron mediciones durante los 2 años.

Nombre común	Nombre científico	Familia	N° de mediciones
Apio	<i>Apium graveolens</i>	Apiaceas	4
Arvejas	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Fabaceae	2
Boniato	<i>Ipomoea batatas</i>	Convolvulaceae	2
Brócoli	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>Italica</i>	Brassicaceae	9
Cebolla	<i>Allium cepa</i>	Amaryllidaceae	5
Coliflor	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>Botrytis</i>	Brassicaceae	4
Espinaca	<i>Spinacea oleracea</i> L.	Quenopodeaceae	5
Habas	<i>Vicia faba</i>	Fabaceae	1
Lechuga	<i>Lactuca sativa</i> L.	Compositae	4
Melón	<i>Cucumis melo</i>	Cucurbitaceae	1
Morrón	<i>Capsicum annuum</i>	Solanaceae	2
Puerro	<i>Allium porrum</i>	Amaryllidaceae	1
Repollo	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i>	Brassicaceae	1
Tomate	<i>Lycopersicon esculentum</i>	Solanaceae	3
Zanahoria	<i>Daucus carota</i>	Apiaceas	1
Zapallito	<i>Cucurbita máxima</i>	Cucurbitaceae	2

**Cuadro 2.** Período USLE para los cultivos hortícolas.

Período USLE	Definición
0	Laboreo primario, secundario, encamellonado. Sin cobertura vegetal.
1	Siembra o trasplante, hasta primera etapa de crecimiento del cultivo.
2	Crecimiento hasta pleno desarrollo.
3	Pleno desarrollo hasta fin de cosecha (escalonada o concentrada).
4	Fin de cosecha hasta rastrojos.

Este período se refiere solamente a cuando se deja de cosechar y se dejan los rastrojos. Termina con el laboreo para el próximo cultivo, que corresponde al período 0.

## Resultados y discusión

### RPS del camellón y del entresurco para los cultivos hortícolas

En el Cuadro 3 se observa la diversidad de resultados, se presentan los períodos y las RPS del camellón y del entresurco de los distintos cultivos, y se diferencian los cultivos de producciones convencionales o conservacionistas. El período 1 ocupó entre los primeros 10 y los 70 días de iniciados los cultivos. Se observó que la cobertura vegetal varió según el cultivo entre 0 y 100 %. El período 2 ocurrió entre los 40 y 130 días de iniciados los cultivos, la cobertura vegetal estuvo entre un 30 y 100 %. Si se observa el Cuadro 3, el período 2 comienza a los 40 días en el cultivo de repollo, esto se debe a que este cultivo a los 20 días estaba en el período 1; en cambio, el cultivo de puerro, que a los 10 días estaba en el período 1, recién comenzó el período 2 a los 70 días. Estas diferencias se pueden atribuir a la arquitectura de la planta, dado que los dos cultivos son de trasplante. El período 3 ocupó entre los 70 y 160 días de iniciados los cultivos, y la cobertura vegetal fue de entre 25 y 100 %. El período 4 ocupó entre los 80 y 230 días de iniciados los cultivos, y la cobertura vegetal fluctuó entre 0 y 100 %. Este período varió de acuerdo al sistema hortícola, en los sistemas más intensivos con cultivos de ciclo corto entre el fin de cosecha-rastrojo y un nuevo laboreo fue inmediato, en cambio, en los sistemas de producción con ciclos más largos se enmalezó y estuvo en esta condición por tres o cuatro meses hasta el siguiente laboreo.

Considerando las estimaciones de RPS (Cuadro 3), para los cultivos de melón y boniato, ambos se caracterizan por el rápido crecimiento de las guías donde se cubre el camellón y el entresurco, y luego se mantienen hasta terminada la cosecha, con la particularidad de que en boniato se cosecha con el volteo del camellón, vol-

viendo a los valores iniciales de RPS del período 0 (Figura 1). En los cultivos como tomate encañado o morrón, el entresurco se enmaleza sin competir con el cultivo, por lo tanto el camellón y el entresurco, mantienen valores similares de RPS, como se observa en la Figura 1 para tomate encañado.

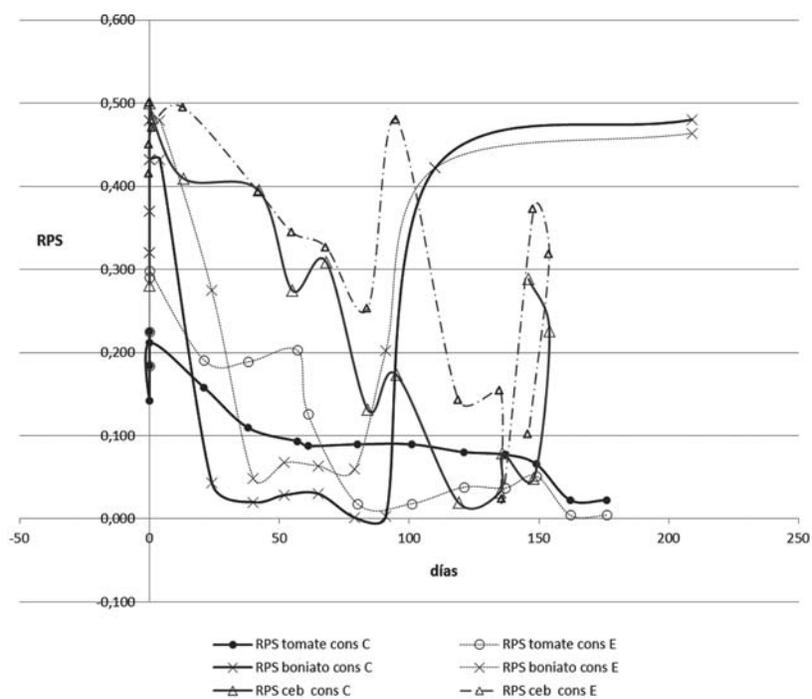
Los cultivos de puerro y cebolla son de lento desarrollo, compiten mal con las malezas y el porte es erecto con hojas planas y cilíndricas, respectivamente, y dejan pocos residuos en superficie. Por lo tanto el manejo tiende a dejar libre de malezas el camellón y la arquitectura de la planta no lo cubre. En consecuencia los valores de RPS fueron altos, tanto para el manejo convencional como para el conservacionista (Cuadro 3, Figura 1).

El cultivo de zanahoria es sembrado de semilla y es de lento crecimiento, pero cuando está en pleno desarrollo cubre todo el camellón, por lo cual se midieron valores bajos de RPS en este período. La cosecha con la extracción de la planta hace que aumente la RPS. En los cultivos de habas y arvejas, estos son sembrados de semilla y crecen en invierno, de manera que el crecimiento es lento, pero una vez desarrolladas las guías y las ramas cubren el camellón y el entresurco, manteniéndose en la etapa de rastrojo.

Las cosechas escalonadas de los distintos cultivos también provocan variaciones en la RPS, ya que generan superficies con cobertura vegetal y otras desprovistas de vegetación y residuos, como sucede con el cultivo de repollo. El cultivo de espinaca se siembra en el camellón y se cosecha la planta entera, lo que provoca valores altos de RPS durante el período 1 y 2, bajos en su fase vegetativa y nuevamente valores altos en la cosecha. El cultivo de lechuga evaluado se realizó con microtúnel, por lo que el camellón durante los períodos 2 y 3 permaneció regularmente cubierto hasta que las plantas llegaron a tamaño comercial en el período 4 y fueron cosechadas. Al cultivo de apio, antes de la cosecha, se le coloca una banda de nylon para formar la planta y facilitar la cosecha, lo que provoca valores de RPS altos en el período 3 (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Valores de Relación de Pérdida de Suelo (RPS) para camellón y entresurco según periodo, para cada cultivo y manejo.

Cultivo/Manejo	Periodo USLE	0	1	2	3	4
Tomate encañado Conservacionista	Ciclo días	0	38	101	149	176
	RPS camellón	0,294	0,240	0,152	0,121	0,028
	RPS entresurco	0,381	0,325	0,139	0,072	0,028
Tomate encañado Conservacionista	Ciclo días	0	30	87	129	143
	RPS camellón	0,398	0,315	0,286	0,135	0,364
	RPS entresurco	0,485	0,460	0,190	0,245	0,364
Morrón Conservacionista	Ciclo días	0	40	130	150	200
	RPS camellón	0,398	0,346	0,081	0,154	0,122
	RPS entresurco	0,485	0,496	0,226	0,161	0,214
Boniato Conservacionista	Ciclo días	0	50	125	130	190
	RPS camellón	0,374	0,350	0,018	0,422	0,412
	RPS entresurco	0,390	0,385	0,107	0,422	0,404
Melón Conservacionista	Ciclo días	0	29	101	129	173
	RPS camellón	0,293	0,058	0,016	0,036	0,024
	RPS entresurco	0,381	0,087	0,017	0,038	0,024
Zapallito Conservacionista	Ciclo días	0	49	105	119	135
	RPS camellón	0,293	0,047	0,029	0,148	0,274
	RPS entresurco	0,381	0,037	0,039	0,153	0,274
Zapallito Conservacionista	Ciclo días	0	34	121	164	207
	RPS camellón	0,397	0,117	0,059	0,223	0,387
	RPS entresurco	0,485	0,234	0,159	0,273	0,387
Puerro Convencional	Ciclo días	0	11	71	163	228
	RPS camellón	0,397	0,426	0,183	0,112	0,251
	RPS entresurco	0,485	0,500	0,348	0,240	0,176
Cebolla Conservacionista	Ciclo días	0	70	90	130	149
	RPS camellón	0,391	0,374	0,153	0,044	0,188
	RPS entresurco	0,455	0,406	0,367	0,107	0,264
Zanahoria Conservacionista	Ciclo días	0	30	108	126	138
	RPS camellón	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	Ciclo días	0	14	80	122	182
	RPS camellón	0,293	0,295	0,144	0,068	0,028
	RPS entresurco	0,381	0,500	0,316	0,086	0,039
Brócoli Conservacionista y Convencional	Ciclo días	0	20	85	110	113
	RPS camellón	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	Ciclo días	0	20	40	120	160
	RPS camellón	0,398	0,346	0,081	0,154	0,220
	RPS entresurco	0,485	0,496	0,226	0,161	0,214
Repollo Convencional	Ciclo días	0	20	40	70	80
	RPS camellón	0,398	0,435	0,138	0,073	0,122
	RPS entresurco	0,485	0,472	0,435	0,173	0,214
Lechuga Conservacionista	Ciclo días	0	13	59	122	137
	RPS camellón	0,294	0,407	0,162	0,186	0,390
	RPS entresurco	0,381	0,353	0,261	0,196	0,325
Espinaca Convencional	Ciclo días	0	40	50	85	110
	RPS camellón	0,398	0,442	0,179	0,047	0,286
	RPS entresurco	0,485	0,464	0,404	0,268	0,352
Apio Convencional	Ciclo días	0	16	56	105	120
	RPS camellón	0,397	0,429	0,216	0,415	0,176
	RPS entresurco	0,485	0,454	0,425	0,184	0,194



**Figura 1.** RPS en camellón y entresurco, de tres cultivos con manejo conservacionista según el ciclo en días.

También es necesario destacar la importancia del manejo del sistema en general y no sólo del cultivo en particular, dado que los residuos del cultivo, abono de pollo o abono verde anterior, influyen en los valores del período 0 del cultivo siguiente. Los valores de RPS del período 0 del

conservacionista fueron de alrededor de 0,3-0,4 y en convencional de 0,4-0,5 para camellón y entresurco respectivamente.

A modo de resumen, en el Cuadro 4 se presentan los valores estimados mínimos, máximos y promedios en los

**Cuadro 4.** Valores máximos y mínimos de relación de pérdida de suelo (RPS) para camellón y entresurco según período.

Período USLE	Ciclo días	RPS camellón	RPS entresurco
0	mínimo	0	0,293
	máximo	0	0,398
	promedio	0	0,359
1	mínimo	11	0,047
	máximo	70	0,442
	promedio	31	0,299
2	mínimo	40	0,002
	máximo	130	0,342
	promedio	85	0,132
3	mínimo	70	0,036
	máximo	164	0,425
	promedio	125	0,178
4	mínimo	80	0,024
	máximo	228	0,412
	promedio	155	0,215

que se estimaron los valores de RPS para los 16 cultivos hortícolas. Surge que, los períodos críticos para cultivos hortícolas son el 0 y el 1, y en el momento de cosecha el período 4 en aquellos que se extrae la planta o se voltea el surco, como sucede en el cultivo de boniato. Las relaciones de RPS más bajas se asocian a cultivos de ciclos cortos; arquitectura de planta que cubre el camellón y entresurco; y cultivos en que una vez cosechados se mantienen los rastrojos hasta el próximo laboreo. En otros, el cultivo no cubre el entresurco, pero el entresurco se enmaleza provocando el mismo efecto; este es un aspecto a considerar en el manejo. De modo opuesto, las RPS más altas están asociadas a cultivos más largos y que no cubren el entresurco, con valor máximo de 0,5 (Cuadro 4).

Los cultivos hortícolas se mantuvieron sin malezas antes de la instalación del cultivo. Sin embargo, se observaron valores diferentes de porcentaje de cobertura por residuos (promedio de todos los períodos de un cultivo en particular). En los sistemas conservacionistas, los porcentajes de cobertura por residuos de un promedio de diez cultivos fueron de 19 y 17 % para camellón y entresurco respectivamente, con un rango de 63 a 2 % (Cuadro 5). Los valores más altos se registraron en el predio que realizaba rotación de

cultivos y abonos verdes desde hacía cuatro años. En cambio, en el sistema convencional, en seis de los ocho cultivos se extrajo la planta entera, lo que provocó bajo aporte de residuos en superficie. En este sistema, de un promedio de ocho cultivos, se encontró un porcentaje de cobertura por residuos promedio de 6 y 5 % para camellón y entresurco respectivamente, con un rango de valores de 14 a 1 %.

Si se comparan los valores de cobertura por residuos promedio entre los sistemas convencional y conservacionista, para tomate encañado, surge que en ambos sistemas la cobertura por residuos promedio en camellón es de 6 % y en entresurco entre 7 y 11 %. En cambio, en zapallito el manejo conservacionista presentó residuos de 35 y 27 % en camellón y entresurco, y en el convencional 14 y 1 % en camellón y entresurco respectivamente. Con estos resultados no se puede afirmar que un sistema conservacionista asegure la cobertura del suelo en cultivos como el tomate, que son importantes en superficie y en duración del ciclo. No obstante, estas mediciones de porcentaje de cobertura por residuos revelan tendencias entre los sistemas. Cabe aclarar que no se hicieron estudios estadísticos para evaluar diferencias significativas, porque no se trató de un experimento bajo condiciones controladas, sino de un

**Cuadro 5.** Cobertura por residuos (%) de los cultivos hortícolas según manejo.

	Cobertura por Residuos %			
	Sistema conservacionista		Sistema convencional	
	Camellón	Entresurco	Camellón	Entresurco
Brócoli (promedio sistemas)	5	4	5	4
Tomate encañado	6	7	6	11
Zapallito	35	27	14	1
Apio	sm	sm	3	12
Coliflor	sm	sm	4	6
Espinaca	sm	sm	3	2
Puerro	sm	sm	6	5
Repollo	sm	sm	8	3
Cebolla	24	12	sm	sm
Zanahoria	5	6	sm	sm
Lechuga	6	15	sm	sm
Boniato	2	5	sm	sm
Morrón	20	26	sm	sm
Arveja	22	13	sm	sm
Melón	63	61	sm	sm
Promedio	19	17	6	5
Máximo	63	61	14	12
Mínimo	2	4	4	1

sm: cultivos donde no se realizaron mediciones.

relevamiento en sistemas de producción comerciales. Estos resultados pueden ser interesantes como insumos para otros estudios.

Otro aspecto a considerar es la época en la que se realizan los cultivos. En invierno el suelo está a capacidad de campo, por lo que es más factible el escurrimiento superficial (García Préchac, 1992). Durante el período estival el suelo está seco pero las lluvias son más erosivas. Considerando las particularidades de estos cultivos, donde se realiza más de un cultivo por año y laboreos por cada cultivo, se mantienen libres de malezas y el suelo queda expuesto. Alliaume *et al.* (2014) recomiendan como medida de manejo mantener el suelo cubierto, combinando laboreo reducido, mulching y abono de pollo, para contribuir a conservar la humedad, disminuir el escurrimiento superficial y reducir la RPS.

#### Comparación de las RPS, el Factor C y la pérdida de suelo A para tres sistemas hortícolas

En el Cuadro 6 se comparan tres sistemas productivos incluyendo sólo tres cultivos hortícolas (tomate, cebolla y boniato), en la Figura 1 se presentan para cada cultivo las medidas realizadas de RPS durante el ciclo del cultivo en el camellón y en el entresurco. A partir de estas medidas se estimó la RPS para el período USLE, como se explicó anteriormente, y luego el Factor C del sistema. Posterior-

mente se estimó con el programa EROSION 6.0 la pérdida de suelo A (puestos en igualdad de condiciones para K, R, S, L y P) y se comparó con la tolerancia de pérdida de suelo T. En el ejemplo de horticultura convencional para boniato se utilizaron las estimaciones disponibles de producción conservacionista, con el objetivo de mostrar posibles diferencias. En este ejemplo, considerando el tiempo que podrían ocupar en el campo, la horticultura convencional incluye solamente cultivos hortícolas; la rotación hortícola 62 % de cultivos hortícolas y 38 % de abonos verdes; y la rotación hortícola ganadera 44 % de praderas, 34 % de cultivos hortícolas y 22 % de abonos verdes.

El Cuadro 6 intenta mostrar cómo cambia la pérdida de suelo modificando el sistema productivo, a igualdad de los demás factores, incluyendo las mismas RPS de los tres cultivos con los que se estimó el Factor C del sistema, diferenciándose cada sistema en si se incorporaron abonos verdes o praderas o sólo se cubrió el suelo con esos tres cultivos. Además, en el Cuadro 6 se presentan los resultados de pérdida de suelo para dos de los suelos de los predios. Este cuadro muestra que el suelo de la Unidad Ecilda Paullier-Las Brujas admite los tres cultivos en los tres sistemas analizados. En cambio, en el suelo de la Unidad Toledo, si se toma como límite la tolerancia  $T = 7 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ , la combinación de cultivos del ejemplo sería sustentable sólo para RHG, que incluye pasturas, pero esta

**Cuadro 6.** Resultados de Pérdida de suelo (A) con EROSION 6.0, considerando el Factor C de tres sistemas hortícolas a partir de las RPS estimadas para los tres cultivos considerados.

Sistema Características	HC Secuencia de 5 años, con 5 cultivos hortícolas	RH Rotación de 5 años, con 5 cultivos hortícolas y 3 abonos verdes	RHG Rotación de 7 años, con una pradera de alfalfa, 3 cultivos hortícolas y 2 abonos verdes
<b>Cultivos</b>	<b>Tomate, cebolla y boniato</b>		
Factor C del sistema	0,333	0,305	0,148
Pérdida de Suelo A** (Mg.ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup> ) Unidad Ecilda Paullier- Las Brujas K = 0,230 , R = 382	4,6	4,2	2
Pérdida de Suelo A** (Mg.ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup> ) Unidad Toledo K = 0,390, R= 382	7,7	7,1	3,4

Se indica el sistema hortícola convencional (HC), la rotación hortícola (RH) y la rotación hortícola ganadera (RHG). Para todas las estimaciones se consideró: S = 1%, L = 50 m, P = 1, T = 7,0 Mg.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> de pérdida de suelo.

medida sólo sería posible en algunos predios hortícolas. En el ejemplo, la rotación hortícola con abonos verdes y con los tres cultivos propuestos no asegura una disminución en la tasa de erosión. Dogliotti *et al.* (2012) sugieren que en predios dedicados exclusivamente a horticultura y de superficie reducida, en las rotaciones hortícolas con abonos verdes sería necesario incluir cultivos que hagan una buena cobertura del suelo. Considerando estos aspectos y los datos estimados de RPS para distintos cultivos (Cuadro 3) es posible el diseño de sistemas alternativos eligiendo cultivos que sean activos en la protección del suelo, sobre todo en predios con mayor vulnerabilidad.

Según lo expuesto, y a partir de las RPS estimadas en el Cuadro 3, se presentan en el trabajo de Hill *et al.* (2015) otros ejemplos y aplicaciones de las estimaciones de Factor C para sistemas hortícolas (convencional, rotación hortícola y rotación hortícola ganadera), y los resultados de pérdida de suelo con EROSION 6.0 para diferentes inclinaciones de pendientes. Se concluye, entre otros aspectos, que incluir abonos verdes y pasturas reduce la tasa de erosión estimada en 30 % y 60 % respectivamente. Además, en condiciones de distinta erosividad de la lluvia y como forma de adaptación al cambio climático, las praderas tendrían un gran impacto en reducir la tasa de erosión.

### Comparación de las RPS hortícolas con RPS de otros sistemas productivos

Si se comparan los valores obtenidos de las RPS hortícolas los valores mínimos coinciden en cultivos sin laboreo y en períodos USLE 3 o 4 donde existe mayor desarrollo del cultivo. En cambio los valores máximos se encuentran en las producciones de cultivos anuales y en los períodos 0 y 1. Un caso particular lo representan las praderas artificiales donde los valores de RPS se presentan en 0,01 para el período 4 en el segundo y tercer año y el más alto 0,1 para el mismo período en el primer año, siendo valores muy bajos de RPS en comparación a otras producciones (Cuadro 7).

De acuerdo a resultados en horticultura de Alliaume *et al.* (2014) para distintos tratamientos los valores de RPS estimados, se diferencian en: 1) con laboreo reducido se mantuvieron en 0 durante todo el año, 2) con laboreo convencional, abono de pollo y abonos verdes se encontraría entre 0 y 0,4, y 3) los tratamientos que no incluyen abonos verdes estarían entre 0 y 1, presentando los valores mayores durante finales del otoño, invierno y principios de primavera. Estos resultados presentaron las mismas tendencias que las RPS estimadas del Cuadro 3 en predios comerciales, las diferencias se

**Cuadro 7.** Valores de RPS de distintos sistemas productivos.

Cultivo	RPS mínimo	RPS máximo	Fuente
Horticultura	0,02 Período 4	0,5 Período 0, 1 y 4	Estimaciones a partir de medidas a campo en predios comerciales con laboreo convencional. Valores extremos entre 16 cultivos evaluados.
	0	1	Estimaciones a partir de ensayos experimentales: valores extremos con laboreo reducido; y con laboreo convencional y sin abonos verdes (Alliaume <i>et al.</i> , 2014)
Agricultura (secano)	Sin lab	A. de rejas (3LS)	Allmaras <i>et al.</i> (1991), citado por García Préchac (1997)
maíz	0,02	0,54	
trigo	0,03	0,71	
soja	0,03	0,86	
Arroz (riego)	0,02 (período 3.1)	0,4 (período 1)	Generados con RUSLE García Préchac (1997)
Praderas artificiales (mezcla de gramíneas y leguminosas)	0,01 (período 4: 2 <sup>do</sup> y 3 <sup>er</sup> )	0,1 (período 4: 1 <sup>er</sup> año año con alto rend.)	Generados con RUSLE García Préchac (1997)
Forestación (rodales 4 años)	0,03-0,04(1)	0,302(2)	(1) García Préchac <i>et al.</i> (1997)/ (2) Pérez Bidegain y García Préchac (no publicado) citado por Durán y García Préchac (2013)

pueden observar en los valores cercanos a 1, pero hay que aclarar que en la versión 2003 de RUSLE utilizada se agregan otros datos como la consolidación del suelo, y en los ensayos se tiene mayor control de las variables, por ejemplo en el contenido de agua. Sin embargo, estas diferencias al momento de estimar el Factor C del sistema, tanto para los resultados a partir del ensayo como para los estimados a partir de las RPS del Cuadro 3 en predios comerciales, permiten diferenciar los sistemas y se encuentran en valores similares, como se observa en el Cuadro 8, demostrando lo robusto que es el modelo.

### Comparación de los Factores C hortícolas con los correspondientes a otros sistemas productivos

En el Cuadro 8 se presentan Factores C de distintos sistemas productivos. Los sistemas se diferencian en la cobertura del suelo, alta tecnología, duración del ciclo (anuales como horticultura, agricultura en secano y arroz) y en las situaciones de baja tecnología que se caracterizan por tener laboreos convencionales para su instalación (periodo 0 y 1), estos últimos reportan valores medios a altos de

Factor C del sistema. Las estimaciones de Factor C para los distintos tratamientos en horticultura de Alliaume *et al.* (2014) fueron: 1) laboreo reducido 0,04, 2) laboreo convencional con abono de pollo y abonos verdes 0,13, 3) laboreo convencional con abono de pollo 0,38 y 4) laboreo convencional de 0,43. Estos valores estimados de Factor C para un experimento con distintos tratamientos, presentan valores similares de Factor C estimados a partir de RPS de predios comerciales. Para todos los sistemas productivos a medida que se reduce el laboreo los valores de Factor C disminuyen. La horticultura, a diferencia de otras producciones, tiene la particularidad de realizar algunos cultivos de ciclo muy cortos, teniendo además de los laboreos convencionales el encamellonado, lo que aumenta el número de laboreos por año que se realizan. Además algunos cultivos de importancia económica y en superficie, como el de cebolla, no cubren el suelo. Los resultados en tratamientos con laboreo reducido y las estimaciones para sistemas de rotaciones hortícolas ganaderos en predios comerciales, reafirman la necesidad de reducir el laboreo en horticultura como forma de bajar el Factor C del sistema, entre otras medidas.

**Cuadro 8.** Comparación de valores de Factor C en distintos sistemas productivos.

Cultivo	Factor C mínimo	Factor C máximo	Fuente
Horticultura (1)	0,108	0,473	Sistemas estimados con las RPS del Cuadro 3, el mínimo en RHG y el máximo en HC.
	0,04	0,43	Estimaciones a partir de RPS de tratamientos experimentales, valores extremos entre laboreo reducido y laboreo convencional. Alliaume <i>et al.</i> (2014)
Campo natural manejado bajo corte (2)	0,02		
Rotación agrícola- ganadera 2 años de cultivos 2 de pasturas con laboreo convencional (2)	0,11		
Igual al anterior pero con siembra directa (2)	0,02		Clérico y García Préchac (2001) citado por Durán y García Préchac (2013)
Agricultura continua con laboreo convencional (1)	0,30		
Agricultura continua con siembra directa (2)	0,036		
Arroz			
Alta productividad: con lab. Convencional / lab. Reducido (1)	0,32 / 0,12	0,55 siembra y emergencia	Durán y García Préchac (2013)
Forestación eucaliptos (8 años) (1)	0,006		Clérico y García Préchac (2001) citado por Durán y García Préchac (2013)
Implantación con distinta tecnología (1)		Alta 0,05 baja 0,36	Denis Lepianey y García Préchac (1997), Durán y García Préchac (2013)

En la primera columna se indica si el valor es de estimación con USLE/RUSLE (1) o de valores experimentales (2). Donde la rotación hortícola ganadera se expresa como RHG y la horticultura convencional como HC.

## Conclusiones

Los resultados de RPS de 16 cultivos hortícolas de predios comerciales medidos a campo durante dos años se encuentran en valores mínimos de 0,002 (en el período 2) y máximos de 0,442 (en el período 1) para camellón, y en valores de 0,017 (en el período 2) y 0,500 (en los períodos 1 y 2) para entresurco. Los valores más bajos se presentan en cultivos de rápido crecimiento, que cubren el camellón y el entresurco, y en que una vez cosechados sus rastrojos se dejan hasta el siguiente laboreo.

Los períodos críticos son el 0 y 1, en los que se prepara el suelo y se instalan los cultivos, algunos de semilla y otros de trasplante. Los cultivos que se instalan de semilla en invierno son los más críticos, porque el desarrollo es lento, los cultivos se dejan libres de malezas porque compiten mal con las mismas y el suelo está a capacidad de campo, porque el suelo se encuentra desprotegido por un período de tiempo mayor que en otros cultivos y eso lo hace más susceptible a la erosión por escurrimiento superficial. Otro momento crítico es la cosecha, donde para algunos cultivos se extrae la planta entera (apio, espinaca, zanahoria, cebolla) o se realiza el volteo del camellón, como en el cultivo de boniato.

Se pudieron observar algunas tendencias entre sistemas de manejo: en promedio el porcentaje de residuos para conservacionistas fue de 19 y 17 %, y en sistemas convencionales fue de 6 y 5 %, para camellón y entresurco respectivamente. Se demuestra la importancia del sistema de manejo en general y no sólo el cultivo en particular, destacando la importancia de los residuos que generen el cultivo en cuestión, y el cultivo o abono verde anterior. Dado que este trabajo se realizó en predios comerciales y no tenía como objetivo el ensayo de residuos en cobertura, con esta información se intenta generar antecedentes para futuros trabajos.

Si se comparan las estimaciones de pérdida de suelo de tres sistemas hortícolas (convencional, rotación hortícola y hortícola ganadera) con los mismos cultivos, surge que a medida que se va de un sistema 100 %, 62 % o 34 % con cultivos hortícolas al agregado abonos verdes, y luego también de pradera, la disminución en la pérdida de suelo es notoria. Además, se observó que la incorporación de algunos cultivos en una rotación hortícola con abonos verdes no asegura niveles aceptables de tolerancia de pérdida de suelo.

Por lo antes expuesto, las RPS están ligadas a las particularidades de cada cultivo y se deben considerar al momento de diseñar sistemas alternativos, por ejemplo aquellos que aporten mayor protección del suelo, sobre todo en

condiciones de sistemas más vulnerables y superficies pequeñas, que no permitan la incorporación de praderas. De esta forma, los cultivos del sistema pueden ser parte activa en la protección del suelo durante su desarrollo y de los residuos que se generen para el próximo abono verde. 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 el programa EROSION 6.0, tanto en sistemas convencionales como en sistemas alternativos más sustentables, y 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.

Por último, para validar el modelo se deberían tomar medidas de erosión real, mediante ensayos de campo, y compararlos con las estimaciones del modelo.

## 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, a sus integrantes y a los productores que aportaron los predios en los que se realizaron las mediciones, por el apoyo para la ejecución del mismo.

## Bibliografía

- Alliaume A, Rossing WAH, Tifton P, Jorge G, Dogliotti S. 2014. Reduced tillage and cover crops improve water capture and reduce erosion of fine textured soils in raised bed tomato systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, (183): 127 - 137.
- Allmaras RR, Langdale GW, Unger PW, Dowdy RH, Van Doren DM. 1991. Adoption of conservation tillage and associated planting systems. Citado por García Préchac F. Curso de actualización sobre siembra directa y conservación de suelos. Cerro Largo : Facultad de Agronomía. 121p. 1997.
- Allmaras RR, Burwell RE, Larson WE, Holt RF. 1966. Total porosity and random roughness of the interrow zone as influenced by tillage. Washington : USDA. 22p. (Conservation Research Report ; N°7).
- Denis Lepiane V, García Préchac F. 1997. Estimación del Factor C de la ecuación universal de pérdida de suelo en la instalación de montes de rendimiento de eucaliptos. *Agrociencia*, 1: 30 - 37.
- DINAMA, RENARE. 2005. Plan de acción nacional de lucha contra la desertificación y la sequía. Montevideo : MVOTMA. 168 p.
- DINAMA, RENARE. 2000. Convención de las Naciones Unidas de lucha contra la desertificación y/o sequía : Informe Nacional Año 2000. S.I. : MVOTMA. [28]p.
- Dogliotti S. 2003. Exploring options for sustainable development of vegetable farms in South Uruguay. [Tesis de doctorado]. Wageningen : Wageningen University. 145p.
- Dogliotti S, Abedala C, Aguerre V, Albin A, Alliaume F, Alvarez J, Bacigalupe GF, Barreto M, Chiappe M, Corral J, Dieste JP, García de Souza MC, Guerra S, Leoni C, Malán I, Mancassola V, Pedemonte A, Peluffo S, Pombo C, Salvo G, Scarlato M. 2012. Desarrollo sostenible de sistemas de producción hortícolas y hortícola-ganaderos

- familiares : una experiencia de co-innovación [En línea]. Montevideo : INIA. 112p. (Serie FPTA; N° 33). Consultado 22 setiembre 2016. Disponible en: [www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/18429300512082857.pdf](http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/18429300512082857.pdf).
- Dogliotti S, González L, Peluffo S, Aldabe L.** 2006. Diseño, implementación y evaluación de sistemas de producción hortícolas sustentables. En: Validación de alternativas tecnológicas para la producción hortícola sostenible en la región sur. Montevideo : INIA. (Serie Actividades de Difusión ; n° 468). pp. 2 - 9.
- Dogliotti S, Van Ittersum MK, Rossing WAH.** 2005. Exploring options for sustainable development at farm scale: a case study for vegetable farms in South Uruguay. *Agricultural Systems*, 86: 29 - 51.
- Durán A, García Préchac F.** 2013. Suelos del Uruguay, origen, clasificación, manejo y conservación. Vol II. Montevideo : Hemisferio Sur. 358p.
- Durán A, Califra A, Molfino JH.** 1999. Suelos del Uruguay según Soil Taxonomy [En línea]. Consultado mayo 2016. Disponible en: [http://cebra.com.uy/renare/media/Suelos\\_del\\_Uruguay\\_segun\\_Soil\\_Taxonomy.PDF](http://cebra.com.uy/renare/media/Suelos_del_Uruguay_segun_Soil_Taxonomy.PDF).
- EULACIAS.** 2009. [En línea]: Consultado 22 setiembre 2016. Disponible en: <http://www.eulacias.org/>
- García Préchac F.** 1997. Curso de actualización sobre siembra directa y conservación de suelos. Cerro Largo : Facultad de Agronomía. 121p.
- García Préchac F.** 1992. Guía para la toma de decisiones en conservación de suelos : 3a Aproximación Conservación de suelos. Montevideo : INIA. 63p. (Serie Técnica : N°26).
- Hartwig RO, Laflen JM.** 1978. A meterstick method for measuring crop residue cover. *Journal of Soil and Water Conservation*, 32: 260 - 264.
- Hill M, Clérico C, Mancassola V, Sánchez G.** 2015. Estimación de pérdidas de suelo por erosión hídrica en tres diferentes sistemas de manejo hortícola del sur de Uruguay. *Agrociencia*, 19(1): 94 - 101.
- Hill M, García Préchac F, Terra J, Sawchik J.** 2008. Incorporación del efecto del contenido de agua en el suelo en el modelo USLE/RUSLE para estimar erosión en Uruguay. *Agrociencia*, 12(2): 57 - 67.
- MAP.** 1976. Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay. Tomo III : Descripción de las unidades de suelos. Montevideo : MAP. 452p.
- Puentes R, Szogi A.** 1983. Manual para la utilización de la Ecuación universal de pérdidas de suelo en el Uruguay. Montevideo : MAP. 80p. (Normas Técnicas en Conservación de Suelos).
- Renard KG, Foster GR, Weesies GA, Mc Cool DK, Yoder DC.** 1997. Predicting Soil Erosion by Water : A guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Washington: USDA. 64p. (Agriculture Handbook ; 703).
- Silva A.** 1998. La materia orgánica del suelo. Montevideo : Facultad de Agronomía. 34p.
- Stocking MA.** 1988. Assessing vegetative cover and management effects. En: Lal R. [Ed.] Soil erosion research methods. Iowa : SWCS-ISSS. pp. 163 - 185.
- Wischmeier WH, Smith DD.** 1978. Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning. Washington : USDA. 58p. (Agricultural Handbook ; N° 537).