

MISCELÁNEA**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**Clérici, C¹ y García Préchac, F¹.

Recibido:30/04/01 Aceptado:06/09/01

INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta comunicación es presentar sintéticamente 1) el modelo USLE/RUSLE (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo/Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada) para estimar tasas de erosión; 2) los avances realizados para adaptarlo a Uruguay y la región sur de la Cuenca del Plata (García Préchac, 1992; García Préchac *et al.*, 1997 y 1999) y 3) los resultados de algunas aplicaciones realizadas con el mismo. Este modelo es una herramienta para estimar la erosión de los suelos, elemento central determinante de la sustentabilidad de los sistemas de producción agropecuarios, ya que a nivel de las unidades productivas (predios) la erosión reduce el potencial productivo por la propia pérdida de masa de suelo y porque se asocia siempre a degradación de las propiedades del suelo que permanece *in situ*.

La posibilidad de evaluar cuantitativamente alternativas de uso y manejo (gerenciamiento) de suelos en términos de la erosión que generan, constituye una guía a la toma de decisiones. Si se logra mantener o disminuir la erosión lo más cerca posible de la que ocurriría en condiciones naturales, se tienen otros resultados beneficiosos, en adición al mantenimiento de la productividad del recurso. Menor erosión significa menores externalidades, es decir menor salida de sedimentos del predio con el agua de escurrimiento, lo que reduce la sedimentación en cauces y cuerpos de agua superficiales. La sedimentación, fenómeno siempre asociado a la erosión, colmata cauces y cuerpos de agua, reduciendo su capacidad de regulación

hidrológica y resultando en desbordes y crecientes más frecuentes. Finalmente, la oxidación acelerada de la materia orgánica del suelo removido por la erosión, así como del sedimento durante su transporte y deposición, incrementan en la atmósfera el CO₂, gas con efecto invernadero (Lal *et al.*, 1998). Es decir, se trata también de una herramienta útil en la evaluación del impacto ambiental de la actividad agropecuaria.

La planificación con consideración de la conservación de los suelos tiene utilidad a escalas desde prediales hasta regionales o nacionales. La principal ventaja de un modelo de simulación es poder realizar la estimación de la tasa de erosión que ocurriría con un determinado uso y manejo del suelo, o variantes tecnológicas de un mismo uso (diferentes manejos), en el proceso de elaboración de los proyectos de explotación prediales. A escalas menores que la predial, además de la planificación y ordenamiento territorial, puede servir para evaluar el uso actual de los suelos y poner de manifiesto las combinaciones uso-suelo-topografía-lugar geográfico con niveles de erosión excesivos, para actuar sobre ellas. Finalmente, los modelos de estimación de tasas de erosión son el primer paso de cualquier modelo de estimación de la pérdida de productividad por erosión. El más usado de estos modelos, EPIC (Sharpley *et al.*, 1990) usa USLE para estimar la tasa de erosión con la que funcionan los componentes de crecimiento y producción de cultivos y su evaluación económica. García Préchac y Durán (1998), presentaron un procedimiento para estimar la pérdida de productividad estimada por el Índice CONEAT (carne y lana), en función de la erosión estimada con USLE/RUSLE.

¹Manejo y Conservación de Suelos y Aguas, Departamento de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía -UDELAR, Avenida Eugenio Garzón 780 - Montevideo, Uruguay
e-mail: cclerici@fagro.edu.uy, fgarciap@fagro.edu.uy

EL MODELO USLE

Este modelo tiene la siguiente forma:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

donde:

- A:** es la pérdida de suelo por unidad de superficie. Sus dimensiones son $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$.
- R:** es el factor erosividad de la lluvia. Es el producto acumulado para el período de interés (en planificación agropecuaria generalmente un año) con cierta probabilidad de ocurrencia (normalmente 50% o promedio), de la energía cinética por la máxima intensidad en 30 minutos de las lluvias. Sus dimensiones son $\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, aunque por simplicidad conviene pensar en energía por unidad de superficie ($\text{J} \cdot \text{ha}^{-1}$, Troeh *et al.*, 1980).
- K:** es el factor erodabilidad del suelo. Es la cantidad promedio de suelo perdido por unidad del factor **R** ($\text{Mg} \cdot \text{J}^{-1}$), cuando el suelo en cuestión es mantenido permanentemente desnudo, con laboreo secundario a favor de la pendiente (condiciones de máxima erosión posible).
- Los demás factores son relaciones a estándares y no tienen dimensiones:
- L:** es el factor 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.
- S:** es el factor 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.
- C:** es el factor uso y manejo. Es la relación entre la erosión de un suelo con un determinado sistema de uso y manejo y la que ocurre en el mismo suelo puesto en las condiciones estándar en que se definió el factor **K**, a igualdad de los demás factores.
- P:** es el factor 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.

Información disponible para usar USLE en Uruguay

Sobre el factor R se posee información que cubre todo el territorio nacional, las provincias de Corrientes, Entre Ríos, Santa Fé, Córdoba y Buenos Aires, de Argentina, y el Estado de Rio Grande do Sul de Brasil, compilada en un mapa de isoerodentas (Fig. 1, García Préchac *et al.*, 1999).

Se dispone de estimaciones del factor K para todos los suelos dominantes de las 99 Unidades de la Carta de Reconocimiento de Suelos de la ROU 1:1M de la DSA-MGAP (Puentes, 1981).

Los valores de los factores topográficos (L y S), se toman de la literatura (Renard *et al.*, 1997), al igual que los del factor P, por entenderse que el efecto de la topografía y de las prácticas mecánicas de control de escurrimiento (laboreo en contorno, en fajas, terrazas) es universal.

En cambio, es muy local el efecto de los dos primeros factores (R y K), así como el del uso y manejo particular al que se somete un suelo (factor C). La obtención de la mayor parte de la información para determinar este Factor se realizó experimentalmente en los EEUU entre los años 30 y los 70, usando parcelas de escurrimiento bajo lluvia natural (Wischmeier y Smith, 1978). El proceso se aceleró durante los 60 y 70 con la metodología de lluvia simulada. Nuestro trabajo sobre este factor, desde 1980, fue validar los datos de la bibliografía, con la instalación de algunos sitios experimentales con parcelas de escurrimiento bajo lluvia natural (García Préchac, 1992; Terra y García Préchac, 2001, en prensa). Este procedimiento es muy costoso en tiempo y recursos, requiriéndose muchos años para llegar a valores promedio confiables. Sin embargo, resulta ineludible para poder conformar una base de datos con la que validar los factores del modelo y el conjunto del mismo. En las publicaciones nacionales hasta 1992, la información para estimar el factor C resultó de seleccionar valores de sistemas de uso y manejo comparables (aunque nunca totalmente) a los de nuestro país en la bibliografía internacional, que los resultados de nuestras pocas parcelas de escurrimiento validaran.

En 1991 (Renard *et al.*, 1991) aparecieron las primeras publicaciones sobre la nueva versión revisada del modelo (RUSLE, Renard *et al.*, 1997), que incluye un nuevo procedimiento para estimar el factor C a partir de 5 variables, de relativamente fácil determinación y estimación: 1) cobertura del suelo por residuos de la vegetación previa, 2) cobertura del suelo por la parte aérea de la vegetación, 3) rugosidad de la superficie del suelo, 4) contenido de biomasa en descomposición en los primeros 10 cm del suelo y 5) contenido de agua del suelo. Esto nos permitió realizar varias campañas de determinaciones de estas variables en los principales sistemas de producción del Uruguay, con sus variantes de manejo de suelos, habiéndose publicado una síntesis de los resultados obtenidos (García Préchac *et al.*, 1997) y elaborado un programa de computación que contiene toda la información disponible sobre todos los factores y las rutinas de cálculo, para facilitar su aplicación por los usuarios (García Préchac *et al.*, 1996).

Se continúa trabajando para obtener más valores en sistemas de producción nuevos en el país o de menor importancia en cuanto al área que ocupan.

Validación de la USLE/RUSLE en Uruguay

Los resultados de las estimaciones realizadas con el modelo solamente son confiables si resultan validadas por resultados experimentales.

Si se consideran por separado los distintos factores de los que se obtuvo información local, Puentes (1981) realizó estimaciones del factor K para todos los suelos caracterizados y cartografiados en el Uruguay, utilizando un submodelo desarrollado en los EE.UU. a partir de la composición granulométrica, el contenido de materia orgánica, la estabilidad estructural y la permeabilidad inferida de la morfología. Las estimaciones de Puentes han sido validadas con determinaciones experimentales realizadas con lluvia simulada; el coeficiente de correlación encontrado entre los K estimados por Puentes y los medidos con lluvia simulada en 7 suelos de texturas contrastantes fue 0,99 (García Préchac *et al.*, 1999). En este mismo trabajo, se citan resultados de parcelas de escurrimiento bajo lluvia natural entre 4 y 10 años en tres localidades, en las que las determinaciones experimentales de los K son muy cercanas a las estimaciones de Puentes. Las estimaciones del factor C realizadas con RUSLE, como se explicó antes, han sido validadas tanto en microparcels con lluvia simulada como bajo lluvia natural en las parcelas de escurrimiento de la Unidad Experimental Palo a Pique del INIA-Treinta y Tres, sobre un Argisol de la Unidad Alférez. En el primer caso el coeficiente de correlación encontrado fue de 0,74 y en el segundo 0,91, entre los valores medidos experimentalmente y los estimados con RUSLE (García Préchac *et al.*, 1998). Cabe indicar además, que la regresión entre los RPS (relación de pérdida de suelo con respecto al suelo desnudo) estimados con RUSLE y los medidos en las parcelas de escurrimiento de Treinta y Tres tuvo intercepto 0,03 y pendiente 1,08, es decir que las dos variables presentan una relación 1:1, indicando que además de la alta correlación, las estimaciones se ajustan muy cercanamente a los valores experimentales.

El tercer factor sobre el que se ha obtenido información local (factor R) solo puede ser validado con datos de largo plazo bajo lluvia natural en parcelas de escurrimiento, junto con el conjunto de todo el modelo. Las estimaciones realizadas con la información hasta 1992 fueron comparadas con resultados de 2 sitios experimentales (Aguas Blancas, Lavalleja y La Estanzuela, Colonia) en 2 suelos, con información de 4 años bajo lluvia natural (García Préchac y Clérici, 1996). Las determinaciones experimentales corres-

pondieron a sistemas de uso y manejo que van desde campo natural hasta suelo permanentemente desnudo, incluyendo cultivo continuo y rotaciones de cultivos y pasturas, combinados con diferentes intensidades de laboreo (Convencional, Reducido y Siembra Directa). Se observó buena concordancia entre los valores medidos y los estimados por el modelo ($r^2=0,88$). En el sitio Aguas Blancas, se dispone de información sobre contenido de agua en el suelo, que permite estimar el factor C con RUSLE, incluyendo el subfactor para contenido de agua en el suelo. Sustituyendo en el modelo el factor C estimado con el procedimiento previo a 1992, como ya se indicó, por la nueva estimación con RUSLE, se obtuvo un r^2 lineal entre lo estimado y lo medido de 0,97. Independientemente de cómo de estime el factor C, las altas correlaciones con la erosión medida promedio anual con lluvia natural validan el conjunto del modelo, pero la introducción de los C estimados con RUSLE, que consideran la variación del contenido de agua en el suelo, mejoran evidentemente la precisión de las estimaciones.

CASO 1 : Aplicación del modelo para estimar la erosión que se generaría con diferentes manejos para el cultivo de arroz en suelos del norte de Uruguay

En este caso se ejemplifica el uso del modelo para hacer comparaciones detalladas de variantes de manejo para un mismo uso, dentro de los períodos más riesgosos de un cultivo. Se presenta a continuación una selección de resultados generados con el modelo, para desarrollar criterios de conservación de suelos exigibles por PRENADER (Programa de Recursos Naturales y Desarrollo del Riego) en proyectos de riego de arroz en la zona Norte (García Préchac, 1994; García Préchac y Clérici, 1996).

De los suelos considerados en dicho trabajo, aquí se presenta el caso extremo de un Brunosol Subéutrico Típico con una pendiente de 4%, con una erodabilidad (factor K) de 0,22, y con prácticas mecánicas de apoyo (factor P) de 0,5 correspondiente a laboreo y siembra en contorno. Se tomó la erosividad de las lluvias (factor R) promedio anual de Bella Unión (685 unidades), con una distribución promedio para los tres meses considerados como época de siembra (setiembre, octubre y noviembre) de 6,9, 11,8 y 9,9%, respectivamente, del valor promedio anual. Se consideró un largo de ladera (determinante del factor L) de 400 m, más las siguientes alternativas: a) 200 m, que estima el efecto de dividir la ladera a la mitad con una terraza, b) 100 m, que surge de dividirla en cuatro, también con terrazas y c) la que corresponde a la distancia promedio entre taipas ubicadas con un desnivel de 0,1 m, por lo que cor-

tan a 2,5 m la longitud de la pendiente. En cuanto al uso y manejo (factor C) se utilizaron valores de pérdidas de suelo en el periodo de siembra y emergencia, en relación a suelo desnudo (RPS) de 0,55 para laboreo convencional y alta productividad, de 0,32, 0,22 y 0,12 para alta productividad y laboreo reducido con la superficie cubierta de residuos a la siembra de 30, 50 y 70%, respectivamente. Estas RPS para arroz pueden consultarse en García Préchac et al. (1997), y utilizarse dentro del programa de computación ER30, para ayudar a los usuarios del modelo.

Las alternativas, 1, 2, 3 y 4, corresponden a laboreo convencional y a las cuatro alternativas de longitud de pendiente ya mencionadas. Las alternativas 5, 6 y 7, corresponden a 400 m de largo (sin estructuras tipo terrazas o taipas) y las tres alternativas de laboreo reducido (y cobertura por residuos) consideradas. Las alternativas 8, 9 y 10, corresponden a las tres situaciones de laboreo reducido, combinadas con 2,5 m de longitud de pendiente (las taipas están construidas a la siembra).

Del Cuadro 1 se desprende la conveniencia de sembrar temprano (setiembre a principios de octubre), debido a la distribución de la erosividad de las lluvias en la región.

Si todas las estimaciones se expresan como porcentaje de la alternativa 1, se reduciría la erosión en un 28,6% al cortar la pendiente con una terraza a 200 m de largo, y cortarla a 100 m, también con terrazas, disminuiría la erosión en un 42,9%. Plantar con taipas hechas a la siembra reduciría en un 87,1% la erosión, considerando no tener ninguna estructura que corte la pendiente (400 m de largo) y haber realizado laboreo convencional.

Considerando que no se corta la pendiente con ninguna estructura pero que se reduce el laboreo, 30% de la superficie cubierta por residuos a la siembra reducirían la erosión en un 42,9%, 50% de la superficie con residuos reduciría un 57,3% la erosión y 70% de la superficie con residuos disminuiría la erosión en 85,7%.

Si se planta con taipas hechas, la reducción de erosión sería de 92,8% con 30% de residuos, del 93,4% con 50% de residuos y del 97% con 70% de residuos.

De este ejercicio de aplicación del modelo parecería claro que la práctica aislada que más efecto ejercería en controlar la erosión es plantar con taipas hechas. Para lograr esto en la práctica, dichas taipas deben ser de base ancha y se debe sembrar con una sembradora articulable (sembradora de grano pequeño de siembra directa). Además, las taipas deben estar suficientemente compactadas para que no exista diferencia con el resto del terreno que conduzca a una profundidad de siembra despereja; una ventaja adicional de este procedimiento es que se desperdicia menos terreno.

En el caso presentado, si no se corta la pendiente con estructuras, si se hace laboreo convencional en contorno y si se planta sin taipas hechas en octubre, se debe esperar en promedio de años 5,7 Mg.ha⁻¹ de erosión mensual; si se hiciera todo a favor de la pendiente la erosión mensual se estima en 11,4 Mg.ha⁻¹. La tolerancia de erosión anual para el suelo del ejemplo es de 7 Mg.ha⁻¹.año⁻¹ (Puentes, 1981), por lo que queda claro que dichas prácticas no serían sustentables por generar erosión en exceso.

Se destaca también que 30% de la superficie cubierta por residuos a la siembra conservan tanto o más el suelo, que poner terrazas cada 100 m y algo más del doble que ponerlas cada 200 m. Por lo tanto, es recomendable llegar a sistemas de laboreo reducido e incluso siembra directa.

CASO 2: Aplicación a nivel de cuencas, para estimar transporte de sedimentos

El modelo USLE/RUSLE es empírico y su base de datos proviene de determinaciones puntuales de erosión en las laderas y partes altas. Por lo tanto, no incluye los fenómenos de deposición y retransporte que ocurren en un perfil ladera-bajo y menos en una cuenca. La estimación de la erosión en una cuenca usando USLE en los diferentes suelos, multiplicando las estimaciones por la superficie de cada suelo y sumándolas para toda la cuenca, constituyen una gruesa sobreestimación, siendo uno de los casos emblemáticos de uso erróneo del modelo señalados por su principal autor (Wischmeier, 1976). Sin em-

Cuadro 1. Estimaciones de pérdida de suelo durante el mes de siembra y emergencia de arroz, usando USLE/RUSLE, para las diferentes combinaciones de factores (García Préchac y Clérici, 1996).

Caso	Erosión mensual, Mg.ha ⁻¹									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Set.	3.3	2.4	1.9	0.42	1.9	1.4	0.47	0.24	0.19	0.09
Oct.	5.7	4.0	3.2	0.72	3.2	2.4	0.81	0.4	0.32	0.16
Nov.	4.7	3.4	2.7	0.61	2.7	2.0	0.68	0.34	0.27	0.14

bargo, cuando no existen otros modelos aplicables a cuencas validados, como es el caso de Uruguay, se pueden realizar aproximaciones utilizando coeficientes empíricos de transporte de sedimentos en función de la distancia que deberán recorrer los mismos desde el punto en que se genera la erosión hasta el lugar de deposición. Esto es lo que propone el "Manual de Evaluación y Manejo de Sustancias Tóxicas en Aguas Superficiales" (MEMSTAS) del CEPIS-OPS-Manhattan College (1977). Otra aproximación para cuencas basada en USLE es MUSLE (Williams *et al.*, 1985), aplicando una modificación al factor R que introduce la estimación del escurrimiento de la cuenca (agente de transporte de sedimentos), hecha con el procedimiento del Soil Conservation Service del USDA.

En el caso que aquí se presenta se aplicó la primera de las aproximaciones indicadas. Este procedimiento de estimación fue utilizado en las cuencas de los principales cursos y cuerpos de agua de Maldonado, en el marco de la Consultoría PEC 12, realizada para la OSE por INYPSA (1995). A pesar de las limitaciones indicadas, conociendo el uso actual (área de cada uso y manejo, y localización geográfica), la aproximación utilizada permite identificar las áreas donde se genera erosión excesiva dentro de la cuenca y proponer las medidas de uso y manejo para corregir el problema.

A los efectos de ilustrar esta aplicación, se presenta un resumen de los resultados y recomendaciones obtenidos con esta metodología para el caso de la Cuenca del Arroyo Pan de Azúcar, aguas abajo de la Ruta 9, en su generación de sedimentos que terminarían en la Laguna del Sauce. En

esta cuenca los sistemas de usos de la tierra (SUT) corresponden a un 77% de campo natural (CN), 4,2% de áreas forestadas (F), 9% de lechería (L), 1,5% de agricultura intensiva (Ai, hortícola y frutícola) y más de 1% de papa comercial (P), a los que debe agregarse un 1,7% de rotaciones agrícola-ganadera (RLg).

El primer escenario considerado es el que representaría la situación actual. En este caso la erosión bruta estimada es de 66571 Mg anuales, de los que 25297 llegarían a la Laguna (un coeficiente de transporte global de 38%). La contribución a la erosión bruta y la que llegaría a la Laguna, de cada SUT en este escenario sería la siguiente (Cuadro 2).

Considerando ahora el escenario en que se realizan las prácticas de control mecánico de erosión es decir mejoran los factores P de los SUT Lechero, Papa y Rotaciones ganadero-agrícolas pero no cambian los factores C, la erosión bruta baja a 56800 Mg anuales y la que llegaría a la Laguna a 21584 Mg, una mejora de 14,7 y 14,7%, respectivamente, frente al escenario de la situación actual.

Si se considera el tercer escenario, donde se mejoran los factores C de los SUT Lechería (entre extremos, de 0,20 a 0,034) y Papa (de 0,11 a 0,06), pero con factores P = 1,0 (todo el laboreo a favor de la pendiente) en todos los casos, la erosión bruta sería de 56803 Mg anuales y la que llegaría a la Laguna de 21584 Mg, lo que significan mejoras de 14,7 y 14,7% respecto a la situación actual. La contribución a la erosión bruta y a la que llegaría a la Laguna de cada SUT en el escenario que se considera sería la siguiente (Cuadro 3).

Cuadro 2. Estimaciones de la erosión bruta y la que llegaría a la Laguna para la situación actual.

SUT:	CN	F	L	Ai	P	RLg
Erosión bruta Mg.año ⁻¹ :	42937	2515	12841	1068	1019	6191
Erosión a la Laguna, Mg.año ⁻¹ :	16316	955	4880	406	387	2352
Proporción de la Erosión a la Laguna:	0,64	0,04	0,19	0,02	0,02	0,09

SUT = Sistema de Uso de la Tierra; CN = Campo Natural; F = Forestación; L = Lechería;

Ai = Agricultura intensiva, hortícola y frutícola; P = Papa comercial; RLg = Rotaciones agrícolas ganaderas.

Cuadro 3. Estimaciones de la erosión bruta y la que llegaría a la Laguna mejorando los factores C de los SUT lechería y papa.

SUT:	CN	F	L	Ai	P	RLg
Erosión bruta Mg.año ⁻¹ :	42937	2515	3379	1068	713	6191
Erosión a la Laguna, Mg.año ⁻¹ :	16316	955	1284	406	271	2352
Proporción de la Erosión a la Laguna:	0,73	0,04	0,06	0,02	0,01	0,11

SUT = Sistema de Uso de la Tierra; CN = Campo Natural; F = Forestación; L = Lechería;

Ai = Agricultura intensiva, hortícola y frutícola; P = Papa comercial; RLg = Rotaciones agrícolas ganaderas.

Cuadro 4. Estimaciones de la erosión bruta y la que llegaría a la Laguna mejorando los factores C y P de los SUT lechería y papa y rotaciones agrícola-ganaderas.

SUT:	CN	F	L	Ai	P	RLg
Erosión bruta Mg.año ⁻¹ :	42937	2515	1690	1068	535	3095
Erosión a la Laguna, Mg.año ⁻¹ :	16316	955	642	406	203	1176
Proporción de la Erosión a la Laguna:	0,83	0,05	0,03	0,02	0,01	0,06

SUT = Sistema de Uso de la Tierra; CN = Campo Natural; F = Forestación; L = Lechería; Ai = Agricultura intensiva, hortícola y frutícola; P = Papa comercial; RLg = Rotaciones agrícolas ganaderas.

Como se observa, los cambios respecto al escenario donde solamente se mejoraban los factores P ocurren en el SUT Lechero, donde se estima se lograrían los mayores beneficios por cambios en el uso y manejo de los suelos, los cultivos forrajeros y las pasturas, ya que, como se indicó, ocupa un área importante en la porción de la cuenca que se considera. Su participación en la erosión que llega a la Laguna baja de 19 a 6%.

Finalmente, corresponde considerar la situación en la que se adoptarían tanto mejoras en el uso y manejo (factores C), como en las prácticas mecánicas de apoyo. En este caso, la erosión bruta se estima en 51839 Mg anuales, de los que 19699 llegarían a la Laguna, una mejora de 22% en ambas categorías de erosión. Esta es una mejoría muy considerable frente a la situación actual. La contribución a la erosión bruta y a la que llegaría a la Laguna de cada SUT en el escenario que se considera sería la siguiente (Cuadro 4)

En el caso del SUT Lechero, su aporte baja solamente de 6 a 3%, en relación al escenario anterior, que si bien es una reducción de 50% entre ambos escenarios, pone de manifiesto el mucho mayor beneficio a obtener por mejoras en el manejo (reducción de laboreo, mejor cobertura de residuos, mayor proporción de pasturas en la rotación, etc.) que en las prácticas mecánicas como el laboreo en contorno.

En resumen, si se mejoran los factores C y P simultáneamente para los sistemas de uso de la tierra mencionados, la erosión bruta y la que llega a la Laguna se reducen en un 22%, una mejora muy apreciable que debe ser considerada en la toma de decisiones tendientes a una gestión territorial que tenga por objetivo la conservación del suelo y la reducción de aportes de sedimentos y los contaminantes a ellos unidos, a la Laguna del Sauce.

CASO 3 : Evaluación del cambio del uso y manejo del suelo con USLE-RUSLE, en suelos del sur de Brasil, Uruguay y la Provincia de Buenos Aires

Este caso pretende ilustrar el uso del modelo en su aplicación a nivel regional, pero también permitirá apreciar su

utilidad para evaluar el riesgo de erosión de un mismo suelo sujeto a varios usos y manejos propuestos, como se vio en el primer caso, pero ahora como promedio anual.

El trabajo (Clérici y García Préchac, 2000) analizó el efecto de posibles cambios en el uso y manejo del suelo sobre su ritmo de erosión, en 15 suelos seleccionados dentro de la transecta denominada "IGBP" (Figura 1). Dentro de ésta, trabaja el Proyecto "Evaluación regional del impacto del uso de la tierra sobre la función y estructura de los ecosistemas de áreas templadas de América del Sur y del Norte", con financiación del Instituto Interamericano para el Cambio Global (IAI). La selección comprende dos suelos contrastantes de Rio Grande do Sul (Brasil), ocho suelos de Uruguay y cinco de la Provincia de Buenos Aires (Argentina).

Se estimaron las pérdidas de suelo debidas a erosión hídrica con USLE (Cuadro 4) y usando valores del factor uso y manejo (factor C) determinados experimentalmente (indicados con * en el Cuadro 3, García Préchac, 1992 y García Préchac y Durán, 1999) o estimados con RUSLE (Renard, *et al.*, 1997). La erosividad de la lluvia se tomó del mapa regional de isoerodentas (García Préchac *et al.*, 1999, Figura 1).

Los valores de erodabilidad y factores topográficos de los suelos seleccionados se obtuvieron de las siguientes fuentes: Puentes (1981), García Fernández (2000), Merten *et al.* (1995) y Bertoni y Lombardi Neto (1993). El factor P (prácticas mecánicas de apoyo) utilizado, fue el correspondiente a laboreo en el sentido de la pendiente, por lo tanto igual a 1,0. Para todos los casos se consideraron 100 m de longitud de pendiente. El Cuadro 5 resume toda esta información.

Los valores utilizados del factor C son los que se presentan en el Cuadro 6.

En el Cuadro 7 se presentan las estimaciones de pérdidas de suelo por erosión hídrica en Mg.ha⁻¹.año⁻¹, para cada uso, manejo y suelo considerado.

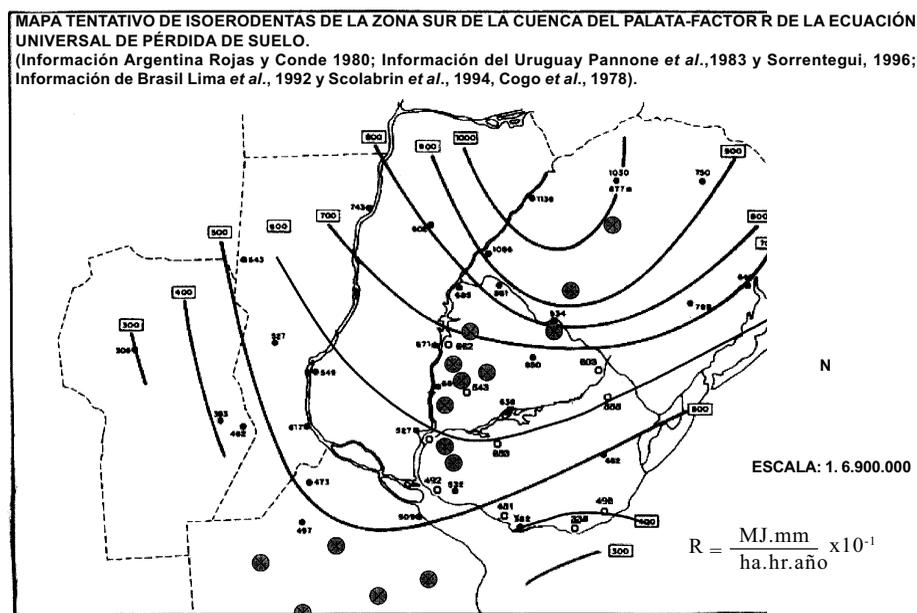


Figura 1. Ubicación de los suelos estudiados (transecta) y mapa tentativo de isoerodentas de la zona sur de la Cuenca del Palata.

Cuadro 5. Información de los suelos de la transecta.

Suelo	Clasificación o identificación	KUSLE (Mg.hr.10.MJ ⁻¹ .mm ⁻¹)	Pendiente %	LS USLE	R USLE (MJ.mm.ha ⁻¹ .hr ⁻¹ .año ⁻¹ .10 ⁻¹)
Bq	Vertic Argiudoll ¹	0,18	5	1,04	532
CñN	Typic Argiudoll ¹	0,34	6	1,3	532
FB	Vertic Argiudoll ¹	0,26	3	0,57	659
TB	Vertic Argiudoll ¹	0,15	4	0,8	659
Ch	Typic Argiudoll ¹	0,24	4	0,8	659
Al	Typic Argiudoll ¹	0,20	4	0,8	659
ITA	Typic Hapludert ¹	0,21	3	0,57	685
Rv	Typic Hapludult ¹	0,22	6	1,3	935
Pod va	Podzólico vermelho - amarelo ²	0,28	3	0,57	1000
Latva	Latossolo vermelho - amarelo ²	0,20	3	0,57	1000
9 de julio	Serie Norumbega ³	0,5	0,5	0,11	527
Las Flores	Serie Monte ³	0,37	0,5	0,11	365
Pehuajó	Serie Pehuajó ³	0,26	0,5	0,11	402
Azul	Serie Cinco Cerros ³	0,26	4	0,8	382
Cnel.Suarez	Serie Laprida ³	0,43	0,5	0,11	353

1 Soil Taxonomy; 2 Clasificación Brasileira; 3 Carta de Suelos de la Provincia de Buenos Aires, INTA-Castelar.

Cuadro 6. Factores C considerados en la transecta.

Uso y manejo	Factor C
1) campo natural	0,02*
2) forestación artificial, eucaliptos implantados (8 años)	0,006
3) rotación agrícola-ganadera 2años de cultivos 2 de pasturas con laboreo convencional	0,11*
4) ídem 3) con siembra directa	0,02*
5) agricultura de cultivos continuos laboreo convencional	0,3
6) agricultura cultivos continuos siembra directa	0,036*
7) agricultura continua (trigo-soja) RGDS	0,41
8) ídem 7) RGDS siembra directa	0,062

*/ Determinados experimentalmente (García Préchac, 1992 y García Préchac y Durán, 1999).

Cuadro 7. Estimaciones de pérdidas de suelo por erosión hídrica en Mg.ha⁻¹, para cada uso, manejo y suelo considerado.

Suelo	Factor K	Campo natural	Forestación implantada	Forestación instalación	Rotación 2:2 Lab. Conv.	Rotación 2:2 siembra directa	Agric.Con. Lab. Conv.	Agric. Cont. siembra directa
Bq	0,18	2	0,6	19,0	11,0	2	30	3,6
CñN	0,34	4,7	1,4	44,7	25,8	4,6	75,6	8,4
FB	0,26	1,9	0,6	18,4	10,6	2	29	3,4
TB	0,15	1,9	0,4	15,0	8,6	1,6	23,6	2,8
Ch	0,24	2,8	0,8	23,9	16	2,8	43,6	5,2
Al	0,20	2	0,6	19,9	11,6	2	31,4	3,8
ITA	0,21	1,9	0,4	14,9	9	1,6	24,4	3
Rv	0,22	5,3	1,6	50,8	29,4	5,4	80,2	9,6
Pod va	0,28	7,5	2,2	71,2	41,2	7,5	153,7	23,2
Latva	0,20	5,4	1,6	50,9	29,5	5,4	109,8	16,6
9 de julio	0,5	0,6	0,2	5,5	3,2	0,6	8,7	1
Las Flores	0,37	0,3	0,1	2,8	1,6	0,3	4,5	0,5
Pehuajó	0,26	0,2	0,1	2,2	1,3	0,2	3,5	0,4
Azul	0,26	1,6	0,5	15,1	8,7	1,6	23,8	2,5
Cnel. Suárez	0,43	0,3	0,1	3,2	1,8	0,3	5	0,6

Campo Natural

Este uso y manejo corresponde a pasturas naturales utilizadas bajo pastoreo continuo de vacunos y lanares.

Las estimaciones para el uso y manejo de pradera o campo natural, en la Provincia de Buenos Aires, resultaron en un promedio para los cinco suelos de 0,6 Mg.ha⁻¹.año⁻¹ de erosión hídrica, con un rango de 0,2 a 1,6 Mg.ha⁻¹.año⁻¹. Bajo igual uso y manejo, en Uruguay el promedio de los ocho suelos fue 2,8 Mg.ha⁻¹.año⁻¹, con un rango de 1,9 a 5,3 Mg.ha⁻¹.año⁻¹. Para los dos suelos de Río Grande do Sul, los valores estimados fueron 5,4 y 7,5 Mg.ha⁻¹.año⁻¹.

El riesgo de erosión aumenta desde la Provincia de Buenos Aires hacia el sur de Brasil, debido principalmente a la erosividad de lluvias.

Agricultura continua

Las estimaciones para agricultura continua con laboreo convencional indican un incremento de 15,7 veces de erosión, respecto a la situación de campo natural para la Provincia de Buenos Aires, con un rango para los cinco suelos de 14,5 a 17,5 veces más. En Uruguay, este sistema incrementó en promedio 14,8 veces las estimaciones res-

pecto a campo natural, con un rango para los ocho suelos de 12,4 a 16 veces. En Rio Grande do Sul, las estimaciones muestran los mayores incrementos, de 20,3 y 20,5 veces respecto a campo natural, para los dos suelos considerados. Lo anterior indica que para el sistema de agricultura continua con laboreo convencional, el aumento de la erosión sobre la base del campo natural es similar en Uruguay y Argentina, pero es unas 6 veces mayor en el sur de Brasil.

Si el sistema considerado es agricultura continua en siembra directa frente a campo natural, para los suelos argentinos el promedio de las estimaciones de erosión aumenta 1,8 veces, con un rango de 1,6 a 2. Para los suelos uruguayos el promedio de aumento es 1,7 veces, con un rango de 1,6 a 1,9. Mientras que para los dos suelos del sur de Brasil el resultado se incrementa en 3,1 veces. La efectividad de la siembra directa se estima similar en Argentina y Uruguay, pero es alrededor de la mitad de efectiva en el sur de Brasil.

Rotación de cultivos con pasturas

Para los sistemas de rotaciones 50% cultivos y 50% pasturas, sembradas con laboreo convencional, se estimó para los suelos argentinos un incremento promedio de 5,7 veces respecto a campo natural, con un rango de 5,3 a 6,5 veces. Para los suelos uruguayos el incremento fue de 5,3 veces con un rango de 4,5 a 5,8. Para los suelos brasileros los valores se incrementaron 5,5 veces. Si en este caso el laboreo convencional se realizara en contorno (factor $P = 0,5$), las estimaciones son escasamente superiores al sistema de agricultura continua con siembra directa. Cuando el sistema de uso fue la misma rotación, pero con siembra directa, los valores para toda la transecta fueron similares a los de campo natural, aún con la siembra realizada en el sentido de la pendiente. Esto significa que se trata de los sistemas de uso y manejo más sustentables para la agricultura y ganadería de la región.

Forestación con Eucaliptos

Se le dará particular atención al planteamiento de este tipo de uso de la tierra, ya que en Uruguay es motivo de alta preocupación su potencial impacto, porque desde hace unos diez años se han incrementado en forma muy importante las plantaciones forestales, principalmente del género *Eucalyptus*.

Se realizaron estimaciones para la situación de plantaciones de eucaliptos con el dosel cerrado, a los 8 años de la implantación. En este caso, por el valor del factor C utilizado (estimado con RUSLE) se obtuvieron para el promedio de los suelos argentinos estimaciones de erosión

frente a campo natural 64% menores, con un rango de 50 a 69%. Para los suelos uruguayos el promedio de reducción fue de 72%, con un rango entre 68 y 79% y para los dos suelos del sur de Brasil, la reducción fue de 70%.

Todavía no se han realizado evaluaciones del factor C en la situación crítica de corta comercial del monte. El otro período crítico de estas plantaciones ocurre desde que se comienza a preparar el sitio, normalmente a partir de campo natural en el caso de Uruguay, hasta el cierre del dosel. La duración de este período y el riesgo de erosión durante el mismo varían en función de la intensidad de laboreo utilizada (cobertura de suelo por residuos, porcentaje de la superficie total laboreada), del uso anterior del suelo (cantidad de materia orgánica en descomposición en la capa superficial) y del nivel tecnológico utilizado en el cultivo forestal.

Denis y García Préchac (1997), realizaron estimaciones con RUSLE para este período crítico en plantaciones en Uruguay. Estos autores separaron dos grandes categorías de niveles tecnológicos de las plantaciones: 1) un nivel alto, con utilización de fertilizantes, herbicidas y plantas de calidad genética superior, y con laboreo para la plantación de solamente un tercio del área total (correspondiente a una franja centrada en la fila de los árboles) y 2) un nivel bajo donde, además de una significativa reducción de utilización de insumos, el área de laboreo para la implantación del monte es toda la superficie. También se consideró el uso anterior del suelo según dos grandes categorías: 1) el sitio para la implantación era virgen, sin uso agrícola previo, o 2) por el contrario, era un campo con importante uso agrícola anterior. En el Cuadro 8 se presentan las estimaciones con RUSLE del factor C para cada una de las cuatro situaciones resultantes.

En el Cuadro 9 se presentan las estimaciones de pérdidas de suelo en $Mg \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$, desde el comienzo de la preparación del sitio, hasta el primer año, para los suelos de la transecta. Esto fue realizado a pesar de que, como se dijo, las estimaciones fueron realizadas solamente en plantaciones en Uruguay.

Cuadro 8. Estimación del factor C con RUSLE en la implantación para las situaciones consideradas.

Situación	Factor C en la implantación (primer año)
a) Suelo virgen alta tecnología	0,05
b) Suelo virgen baja tecnología	0,16
c) Chacra vieja alta tecnología	0,105
d) Chacra vieja baja tecnología	0,36

Cuadro 9. Estimaciones de pérdidas de suelo en Mg.ha⁻¹.año⁻¹ hasta el primer año de implantación.

Suelo	Instalación a) SV, AT	Instalación b) SV, BT	Instalación c) ChV, AT	Instalación d) ChV, BT	Forestación implantada de 8 años
Bq	5	16	10,5	36	0,6
CñN	11,8	37,6	24,7	84,7	1,4
FB	4,8	15,5	10,2	34,9	0,6
TB	3,9	12,6	8,3	28,4	0,4
Ch	6,3	20,1	13,2	45,3	0,8
Al	5,2	16,7	11	37,7	0,6
ITA	3,9	12,5	8,2	28,2	0,4
Rv	13,4	42,8	28,1	96,3	1,6
Pod va	18,7	59,9	39,3	134,9	2,2
Latva	13,4	42,9	28,1	96,4	1,6
9 de julio	1,4	4,6	3,0	10,4	0,2
Las Flores	0,7	2,3	1,5	5,3	0,1
Pehuajó	0,6	1,8	1,2	4,2	0,1
Azul	4,0	12,7	8,3	28,6	0,5
Cnel.Suarez	0,8	2,7	1,8	6,1	0,1

a) SV,AT = Suelo virgen y alta tecnología;

b) SV,BT = Suelo virgen y baja tecnología;

c) ChV,AT = Agricultura sin rotación por varios años y alta tecnología;

d) ChV,BT = Agricultura sin rotación por varios años y baja tecnología.

Las estimaciones indican que si el uso anterior fue agricultura sin rotación por varios años (ChV), lo cual degrada el suelo, reduciendo su contenido de materia orgánica, el riesgo de erosión en el primer año es el doble, que para la implantación sobre un suelo virgen (SV). Pasar de alta (AT) a baja tecnología (BT), para ambas situaciones, triplica en promedio la erosión estimada.

Considerando los suelos uruguayos, tomando como referencia el monte implantado con dosel cerrado, las estimaciones de pérdida de suelo en el sistema de alta tecnología y suelo virgen aumentan 8,5 veces. En el caso de baja tecnología en los mismos suelos, en promedio, la estimación es 27 veces más. Si se parte de una chacra vieja el riesgo de erosión se incrementa en 17,9 y 61,1 veces para alta y baja tecnología, respectivamente.

En los suelos de la Provincia de Buenos Aires, respecto al monte instalado de 8 años comenzando de suelo virgen, las plantaciones de alta tecnología aumentan 7,5 veces el riesgo de erosión; en las plantaciones de baja tecnología dicho incremento es de 24 veces. El comienzo sobre chacra vieja aumenta el riesgo de erosión en el primer año, en promedio, 16 y 54,6 veces con alta y baja tecnología, respectivamente.

En el caso de los dos suelos del sur de Brasil los incrementos estimados respecto a la condición de monte im-

plantado son, para suelo virgen, 8,5 y 8,3 veces más con alta tecnología y 27,2 y 26,8 veces más para baja tecnología. En chacras viejas dicho incremento fue estimado entre 17,8 y 17,6 veces con alta tecnología y entre 61,3 y 60,2 veces más para baja tecnología.

CONSIDERACIONES FINALES

Con los casos presentados se pretendió ejemplificar las aplicaciones que se han realizado en la utilización del modelo USLE/RUSLE en Uruguay y en la región, como forma de ilustrar las diferentes escalas de sus usos potenciales. Estos van desde el nivel de detalle para la planificación del uso y manejo del suelo en un predio, pasan por la previsión del efecto de un cultivo nuevo en una zona (arroz en el N de Uruguay) y la estimación de pérdidas de suelo en una cuenca como la del Arroyo Pan de Azúcar, hasta el nivel de la región sur de la Cuenca del Río de la Plata. La posibilidad de poder *a priori* estimar tasas de erosión de una misma combinación suelo-topografía-ubicación geográfica, bajo diferentes usos y manejos, permite la selección de alternativas sustentables del punto de vista de la conservación del recurso. Además, se entiende que es una herramienta disponible para contribuir a dar cumplimiento y usar en la fiscalización de la Ley N°15.239 de Conserva-

ción de Suelos y Aguas y su reglamentación, así como en la evaluación del impacto ambiental en lo referente a erosión y sedimentación (Ley No. 16.466).

BIBLIOGRAFÍA

- BERTONI, J. y F. LOMBARDI NETO .1993. Conservacao do Solo, 3ª ed. IAPAR/EMBRAPA, Icone editora, 355p.
- CEPIS-OPS-MANHATTAN COLLEGE. 1977. Evaluación y manejo de sustancias tóxicas en aguas superficiales (MEMSTAS).
- CLÉRICI, C. y F. GARCÍA PRÉCHAC. 2000. (en prensa). Evaluación del cambio de uso y manejo del suelo con USLE/RUSLE, en suelos del sur del Brasil, Uruguay y la Provincia de Buenos Aires. In XI International Soil Conservation Organization Conference, Buenos Aires.
- DENIS LEPIANE, V. y F. GARCÍA PRÉCHAC. 1997. Estimación del Factor C de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo en la instalación de montes de rendimiento de Eucaliptos, AGROCIENCIA (Rev. Científica de la Facultad de Agronomía-UDELAR) Montevideo, Uruguay No. 1, Vol. I ,pp.30-37.
- GARCÍA FERNÁNDEZ, W. 2000.(no publicado). Estimación de la erosión de suelos de cinco Partidos de la Provincia de Buenos Aires, Trabajo final de Curso de Posgrado en Manejo y Conservación de Suelos Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires y de la UDELAR-Uruguay.
- GARCÍA PRÉCHAC, F. 1992. Conservación de Suelos. Serie Técnica N°26 INIA, Uruguay 63p.
- GARCÍA PRÉCHAC, F. 1994. Criterios de conservación de suelos para el cultivo de arroz en la zona norte. Consultoría a PRENADER.
- GARCÍA PRÉCHAC, F y C. CLÉRICI . 1996. Erosión, predicción y control. In Manejo y fertilidad de suelos, INIA, La Estanzuela Serie Técnica No. 76, pp.149-155.
- GARCÍA, F., R. ECHEBERRÍA y B. LANFRANCO. 1996. EROSION versión 3.0, Programa de computación para el uso de la USLE en la Región del Plata. Presentado en el XIII Congreso. Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, 4-8 de agosto, Aguas de Lindóia, SP, Brasil, Soc. Latinoam. de la C. del Suelo-Soc. Internac. de la C. del Suelo.
- GARCÍA PRÉCHAC, F. y C. CLÉRICI. 1996. Utilización del modelo USLE-RUSLE en Uruguay. In Anales en CD ROM del XIII Cong. Latinoam. de la C. del Suelo, 4-8 de agosto, Aguas de Lindóia, SP, Brasil, Soc. Latinoam. de la Ciencia del Suelo-Soc. Internac. de la Ciencia del Suelo.
- GARCÍA PRÉCHAC, F., C. CLÉRICI y V. DENIS. 1997. Actualización de la información para el uso del modelo USLE-RUSLE en Uruguay, p: 1-10, In F. García Préchac (Ed.) Curso de Actualización Técnica sobre Siembra Directa y Conservación de Suelos, FA(UDELAR), U. de Ed. Perm., Cód. No. 438.
- GARCÍA PRÉCHAC, F., J.A. TERRA y C. CLÉRICI. 1998. Validación del factor uso y manejo del suelo (C) de la RUSLE en Uruguay, In II Reuniao Sul Brasileira de la Ciencia do Solo, Soc. Bras. de la C. do Solo, Santa María, pp. 223-226.
- GARCÍA PRÉCHAC, F. y A. DURÁN. 1998. Propuesta de estimación del impacto de la erosión sobre la productividad del suelo en Uruguay, AGROCIENCIA (Rev. Científica de la FA-UDELAR) Montevideo, Uruguay No. 1, Vol. II, pp. 26-36.
- GARCÍA PRÉCHAC, F; C. CLÉRICI y J.A. TERRA. 1999. Avances con USLE-RUSLE para estimar erosión y pérdidas de productividad en Uruguay. In 14º Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Pucón, Chile, 835p.
- GARCÍA PRÉCHAC, F. y A. DURÁN. 1999.(en prensa). Predicting soil productivity loss due to erosion in Uruguay, In 10th International Soil Conservation Organization Conference, West Lafayette, USA.
- INYPESA. 1995. Informe Final del PEC 12 contratado con OSE, Aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos, y determinación del aporte de macronutrientes y pesticidas provenientes de las descargas dispersas no urbanas en Laguna Blanca, Laguna José Ignacio, Arroyos Sauce, Pan de Azúcar y Maldonado.
- LAL, R., J. M. KIMBLE, R. F. FOLLET y C. V. COLE. 1998. The potencial of U.S. cropland to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect, Ann Arbor Press, 128p.
- MERTEN, G.H; J.H. CAVIGLIONE; D.C. CIACOMINI; R.L. RUFINO; G. MEDEIROS; D. SAINTRAINT; C.A. KESSLER; G.C. RIBAS y R. DEDECEK. 1995. El Uso del SIG y del modelo USLE para determinar erosión potencial y actual en las microcuencas Pilotos de Agua Grande y Corrego do Pensamento, Mambore, Paraná, Brasil- Proyecto GCP/RLA/107/JPN-FAO-IAPAR-EMBRAPA, Santiago de Chile, 43p.
- PUNTES, R. 1981. A framework for the use of the Universal Soil Loss Equation in Uruguay, M.Sci. Thesis, Texas A&M University, 80p.
- RENARD, K. G., G. R. FOSTER, G. A. WEESIES y J. R. PORTER. 1991. RUSLE: Revised universal soil loss equation . JSWC 46 (1): 30-33.
- 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 Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Agriculture Handbook Number 703.

-
- SHARPLEY, A.N. and J.R. WILLIAMS, 1990. EPIC - Erosion Productivity Impact Calculator: 1. Model Documentation. U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin N° 1768.
- TERRA, J.A. y F. GARCÍA PRÉCHAC. 2001. (en prensa). Siembra directa y rotaciones forrajeras en las lomadas del este: Síntesis 1995-2000, INIA- Treinta y Tres, Serie Técnica.
- TROEH, F.R., J.A. HOBBS y R.L. DONAHUE. 1980 Soil and Water Conservation for productivity and environmental protection. Prentice-Hall, New York, 718p.
- WILLIAMS, J.R. y K.G. RENARD. 1985. Assesments of soil erosion and crop productivity with process models (EPIC), In Follet, R.F. y B.A. Stewart (Eds.) Soil and crop productivity, ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, pp.68-105.
- WISCHMEIER, W.H. 1976. Use and missuse of the universal soil loss equation, JSWC 31(1): 5-9.
- WISCHMEIER, W.H. y SMITH, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning. USDA Agricultural Handbook N° 537, 58p.