

NOTA TÉCNICA

Mejora de las estimaciones con USLE/RUSLE empleando resultados de parcelas de escurrimiento para considerar el efecto del agua del suelo

García Préchac Fernando¹, Terra José², Sawchik Jorge², Pérez Bidegain Mario^{1*}

¹ Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos y Aguas. Garzón 780, 12900 Montevideo, Uruguay. *Correo electrónico: mperezb@fagro.edu.uy

² Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) del Uruguay

Recibido: 2017-02-01 Aceptado: 2017-10-09

Resumen

Se parte de la información experimental obtenida en parcelas de escurrimiento bajo lluvia natural en tres sitios con Argiudoles en Uruguay: 1) Aguas Blancas, 1982-1986, cinco Usos y Manejos (UyM), 89 tormentas erosivas, 2) La Estanzuela, 1984-1989, seis UyM, 144 tormentas erosivas y 3) Palo a Pique, 1994-1999, seis UyM, 137 tormentas erosivas, completando el ciclo de la rotación más larga en cada sitio. La regresión lineal entre la erosión promedio anual estimada con USLE/RUSLE y la medida fue: $EroEst = 0,958EroMed + 1,485$, $r^2 = 0,96$, cercana a 1:1. Tres de los UyM correspondieron a suelo permanentemente desnudo, generando la mayor erosión, aproximadamente 40, 50 y 90 $Mg \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$, respectivamente, mientras los demás UyM no superaron 20 $Mg \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$. En suelo desnudo el contenido de agua fue siempre cercano a capacidad de campo porque sin transpiración, al secarse pocos centímetros superficiales, se minimiza la evaporación. Descartando esos tres casos y considerando los 14 restantes, la regresión lineal fue $EroEst = 1,447EroMed + 0,709$, $r^2 = 0,89$, diferente de la relación 1:1, mostrando sobrestimación creciente con la magnitud de la erosión: si la estimación fue 4 $Mg \cdot ha^{-1}$, el valor medido fue 3,25 (23 % de sobrestimación), si la estimación fue 8 $Mg \cdot ha^{-1}$, el valor medido fue 6,02 (33 % de sobrestimación). La sobrestimación del modelo sin corrección por el contenido de agua en el suelo es relevante alrededor de 7 $Mg \cdot ha^{-1}$, el valor de tolerancia más frecuente de los suelos agrícolas (Argiudoles); se propone corregirla usando la regresión obtenida en este trabajo.

Palabras clave: RUSLE, erosión, agua en el suelo

Improving USLE / RUSLE Estimations Using Runoff Plots Data to Consider the Effect of Soil Water Content

Summary

Long-term experimental data were obtained in three Argiudolls in runoff plots under natural rainfall in Uruguay: 1) Aguas Blancas, 1982-1986, five different Soil Management Systems (SMS), 89 erosive storms, 2) La Estanzuela, 1984-1989, six SMS, 144 erosive storms, and 3) Palo a Pique, 1994-1999, six SMS, 137 erosive storms; in all sites, it was completed one cycle of the longest rotation. The linear regression between annual soil erosion estimated with USLE/RUSLE and the experimental one was: $EroEst = 0.958EroExp + 1.485$, $r^2 = 0.96$, close to 1:1. The highest erosion occurred in the permanently bare and tilled soil SMS, around 40, 50 and 90 $Mg \cdot ha^{-1} \cdot yr^{-1}$, respectively, when in the other SMS it was below 20 $Mg \cdot ha^{-1} \cdot yr^{-1}$. Bare soil water content was always close to field capacity due to the extremely low evaporation after the upper few cm of soil are dry. Not considering these three situations, the regression of the remaining 14 SMS situations having full evapotranspiration was $EroEst = 1.447EroExp + 0.709$, $r^2 = 0.89$, different of 1:1 relation, showing increasing overestimation with the magnitude of soil erosion: if estimation was 4 $Mg \cdot ha^{-1}$, the experimental value was 3.25 (23 % overestimation), if estimation was 8 $Mg \cdot ha^{-1}$, the experimental value was 6.02 (33 % overestimation). The model overestimation not considering soil water content variation is relevant around 7 $Mg \cdot ha^{-1}$, the most frequent tolerance value for Argiudolls; it is proposed to correct it using the regression obtained in the present work.

Keywords: RUSLE, erosion, soil water content

Introducción

El modelo empírico USLE (Universal Soil Loss Equation) de estimación de erosión hídrica promedio anual, fue presentado en 1960 por Wischmeier y Smith sobre una base de datos de 10000 combinaciones de parcelas de escurrimiento-año, bajo lluvia natural. En Uruguay se aplicó la metodología de medición de erosión con parcelas de escurrimiento tipo «Wischmeier» (Hill et al., 2008), con la cual se obtuvo información experimental en tres suelos con capacidad de uso agrícola. La regresión lineal entre la erosión promedio anual estimada con USLE y la medida en las parcelas de escurrimiento se presenta en la Figura 1 (García Préchac, 2003); incluye 17 puntos (el número de sistemas de Uso y Manejo que se realizaron en las parcelas de escurrimiento de los tres sitios y suelos). Se ha entendido que estos resultados validan razonablemente el modelo para las condiciones del país. Los componentes validados son todos los que incluye el modelo (clima, suelo, topografía y uso y manejo), excepto el que refiere a las prácticas mecánicas de apoyo. El componente suelo (Factor K) fue también validado independientemente, con lluvia simulada, en otros siete suelos contrastantes (García Préchac, Clérici y Terra, 1999). Lo incorporado en la versión revisada del modelo (RUSLE, Renard et al., 1991, 1994 y 1997) para el

componente uso y manejo (Factor C) fue validado con los promedios mensuales de un año en las parcelas de escurrimiento de Palo a Pique (García Préchac, Terra y Clérici, 1998).

Considerando solamente los resultados del sitio más antiguo (Aguas Blancas), en los que se disponía de medidas del contenido de agua en el suelo quincenales o mensuales, García Préchac (1992) encontró una importante mejora del ajuste de la correlación (de $r^2 = 0,88$ a $r^2 = 0,97$) y mayor aproximación a la relación 1:1 introduciendo en la estimación con USLE el subfactor contenido de agua del suelo de RUSLE utilizado para la región Noroeste de los EEUU (Renard et al., 1997). Esto se explica en que al no hacer esta corrección en las estimaciones, se asume que el contenido de agua del suelo no varía y es siempre alto, cercano a capacidad de campo. En las parcelas de suelo permanentemente desnudo, luego de secarse los primeros centímetros superficiales en contacto con la atmósfera, se enlentece la evaporación hasta prácticamente anularse y se mantiene ese alto contenido de agua, como lo demuestran los datos de agua en el suelo hasta 1,2 m de profundidad medidos durante dos años (García Préchac, 1992). En cambio, en los casos normales de suelo con vegetación, en Uruguay dicho contenido de agua se reduce paulatinamente desde la primavera hasta su mínimo, a

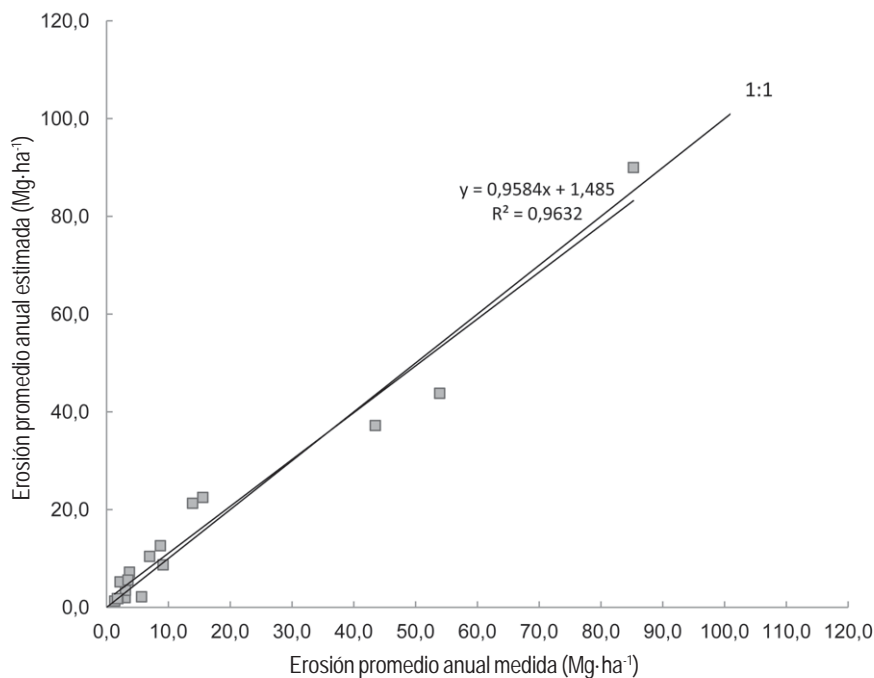


Figura 1. Regresión entre erosión medida en parcelas de escurrimiento bajo lluvia natural y estimada con USLE/RUSLE en 3 sitios y suelos y 17 sistemas de uso y manejo.

finés de verano, como lo demuestran los resultados de dicha publicación. Esto hace que la erodabilidad del suelo sea mayor en otoño-invierno y menor en primavera-verano.

Este problema fue estudiado por Hill et al. (2008) en los tres sitios experimentales ya mencionados, demostrando que la sobrestimación de la erosión hídrica en todos los sistemas de producción, con la excepción del caso de suelo permanentemente desnudo, ocurre también en los otros dos sitios además de Aguas Blancas. Por lo tanto, es un problema general que debe resolverse para mejorar las estimaciones de erosión hídrica en Uruguay. Hill et al. (2008) propusieron un procedimiento de estimación del contenido de agua del suelo mediante el uso de modelos de balance hídrico y por lo tanto, del subfactor contenido de agua del suelo de RUSLE ya referido.

Sin embargo, el programa para el uso del modelo en Uruguay (EROSION 6.0.20, García Préchac et al., 2016) no ha incluido aún la consideración de la variación del contenido de agua de los suelos para la realización de las estimaciones de la erosión promedio anual. Este programa es la herramienta oficial para realizar dichas estimaciones en el cumplimiento del requisito legal vigente en Uruguay de presentación de Planes de Uso y Manejo Responsable de Suelos, que no deben sobrepasar los valores de tolerancia de erosión hídrica asignados oficialmente a los diferentes suelos del país.

En el futuro, posiblemente se llegará a usar RUSLE2 (http://fargo.nserl.purdue.edu/rusle2_dataweb/RUSLE2_Index.htm), que considera el problema que se discute haciendo variar el factor que representa la erodabilidad del suelo (K) en función del contenido de agua que estima el mismo modelo. Sin embargo, previamente se deberá validar RUSLE2 con los datos experimentales disponibles y luego, realizar el proceso para su difusión y uso por parte de los técnicos, además de hacerlo conocido a los productores agropecuarios al mismo nivel que hoy tiene la versión de USLE/RUSLE en uso a través del programa EROSION 6.0.20. Por lo tanto, es esperable que durante algunos años se continúe usando este último. Al ser un problema no resuelto el introducir en este programa el procedimiento desarrollado por Hill et al. (2008), el objetivo del presente trabajo fue revisar la base de datos original en busca de un procedimiento más simple para considerar el contenido de agua del suelo en las estimaciones de erosión con USLE/RUSLE en Uruguay, a fin de corregir la sobrestimación que genera el no hacerlo.

Materiales y métodos

Se utilizaron los datos experimentales promedio anual provenientes de las parcelas de escurrimiento bajo lluvia natural referidos en la introducción. Se trata de tres sitios experimentales en los que se usaron parcelas de escurrimiento tipo «Wischmeier», de 3,5 m de ancho por 22,1 m de largo. El primero ubicado en Aguas Blancas, (34°31'11.72" S y 55°24'22.67" W, Tipic Argiudoll), desde 1982 a 1986, cinco Usos y Manejos diferentes, habiéndose registrado 89 tormentas erosivas. El segundo ubicado en La Estanzuela (34°20'12.31" S y 57°41'08.14" W, Vertic Argiudoll), desde 1984 a 1989, seis Usos y Manejos, habiéndose registrado 144 tormentas erosivas. El tercero ubicado en Palo a Pique (33°20'12.31" S y 54°29'34.43" W, Abruptic Argiudoll), desde 1994 a 1999, seis Usos y Manejos, habiéndose registrado 137 tormentas erosivas. En todos los sitios se completó un ciclo de la rotación más larga (cuatro o seis años); por los detalles de los suelos, usos y manejos e información adicional de los tres sitios, ver Hill et al. (2008). Se realizaron las estimaciones de USLE/RUSLE para cada una de las combinaciones sitio (con diferente erosividad de las lluvias)-suelo (con diferente Factor K)-topografía (que al ser diferente hace variar el Factor S, inclinación de la pendiente; el Factor L se fijó para 100 m de longitud de pendiente)-sistema de producción (que hace variar el Factor C), pero con valor 1 del Factor práctica mecánica en todos los casos, al haberse realizado todas las labores en sentido de la máxima pendiente. La regresión entre las medidas experimentales y las estimaciones del modelo fue la ya presentada en la Figura 1.

Los tres usos y manejos de suelo permanentemente desnudo en cada sitio experimental corresponden a los casos en que el suelo mantiene alto contenido de agua, muy cercano a capacidad de campo, determinando los mayores valores de erosión tanto medidos como estimados (aproximadamente 40, 50 y 90 Mg.ha⁻¹.año⁻¹, en Aguas Blancas, La Estanzuela y Palo a Pique, respectivamente). Estos valores son el doble o más que los mayores de los restantes usos y manejos de la base de datos, que no superan 20 Mg.ha⁻¹.año⁻¹. El peso de estos tres pares de datos es evidente en la determinación de la regresión referida, ya que son los que la acercan a la relación 1:1. Lo que se hizo fue recalcular la regresión eliminando los puntos correspondientes a los tres casos de suelo descubierto permanentemente.

Resultados y discusión

En la Figura 2 se presenta la regresión de 14 pares de puntos, resultante de eliminar los tres casos de suelo desnudo. Se aprecia que el coeficiente de determinación sigue siendo alto, pero que la recta de regresión se aparta de la relación 1:1, siendo la pendiente de la línea de regresión (1,44) diferente de uno ($P < 0,008$) y el intercepto (-0,7) no diferente de cero ($P < 0,5$).

De acuerdo con la regresión obtenida, se observa que la sobrestimación de la erosión con el modelo crece con la magnitud del valor de erosión. Si se calcula la diferencia entre la erosión hídrica estimada y la medida experimentalmente y se la expresa como porcentaje de la última, se obtiene la relación que se presenta en la Figura 3. Si lo medido, que es la mejor aproximación de la erosión real, es muy bajo ($2 \text{ Mg ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, representativo de lo medido en pasturas naturales) la sobrestimación es pequeña, del orden de 7%. Pero a valores de erosión medida próximos a $7 \text{ Mg ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, que es la tolerancia más frecuente reportada para Argiudoles, la sobrestimación es de alrededor de 35%. A valores mayores al anterior, la tendencia del porcentaje de sobrestimación tiende a hacerse asintota a un valor de 40%.

El efecto del contenido de agua del suelo sobre la erosión hídrica no se tuvo en consideración en las versiones del modelo USLE (Wischmeier y Smith, 1960, 1978). Recién aparece considerado en la primera versión de RUSLE (Renard et al., 1997), pero solo para la región noroeste de los EEUU y luego, en su versión de uso actual RUSLE2 (http://fargo.nserl.purdue.edu/rusle2_dataweb/RUSLE2_Index.htm), variando el valor del Factor K en función de una estimación del contenido de agua del suelo diferente al propuesto en Renard et al. (1997). Como los datos de nuestro trabajo lo demuestran, en las condiciones edafoclimáticas del Uruguay la no consideración de dicho efecto determina una importante sobrestimación con el modelo. Pensamos que la diferente importancia entre el grueso de la zona agrícola de los EEUU para la que se desarrolló originalmente USLE en los años 1950-60 y el Uruguay, es que mientras en la primera durante el invierno los suelos están mayoritariamente congelados hasta alguna profundidad y cubiertos de nieve, ello no ocurre en Uruguay. Además, la información experimental recogida en nuestras parcelas de escurrimiento (García Préchac, 1992 y posterior no publicada), indican que la mayoría de la erosión promedio anual en Uruguay ocurre desde fines del

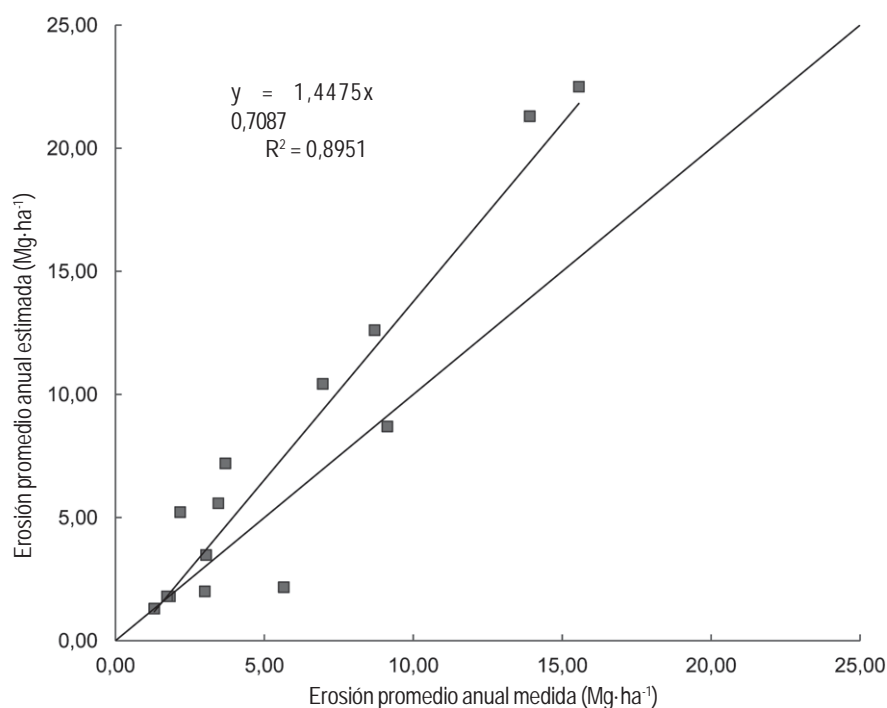


Figura 2. Regresión entre erosión medida en parcelas de escurrimiento bajo lluvia natural y estimada con USLE/RUSLE en 3 sitios y suelos y 14 sistemas de uso y manejo, excluyendo suelo permanentemente desnudo.

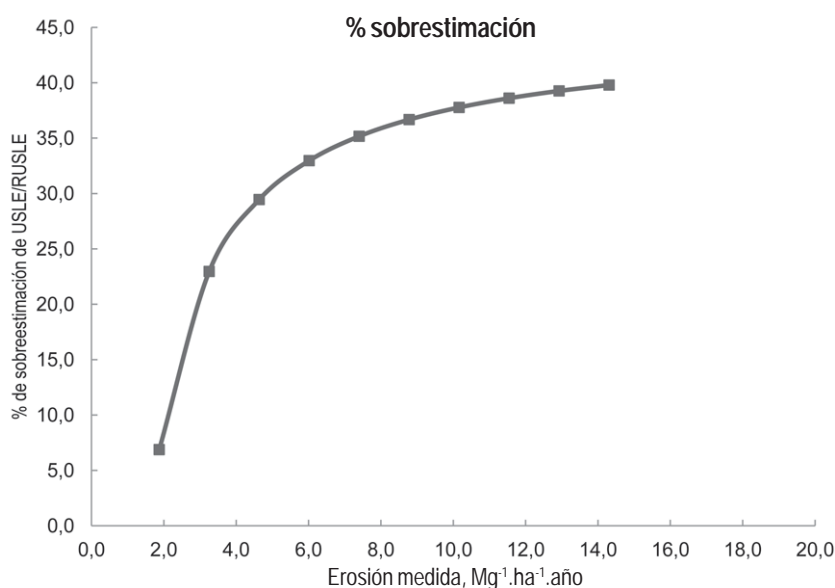


Figura 3. Porcentaje de sobrestimación de la tasa de erosión promedio anual con USLE/RUSLE, en relación a la medida experimentalmente en parcelas de escurrimiento bajo lluvia natural.

otoño, durante el invierno y hasta el comienzo de la primavera, coincidiendo con el período de mayor contenido de agua en los suelos por disminución de la radiación y por lo tanto, de la evapotranspiración potencial, mientras no disminuye en igual proporción la precipitación pluvial.

Conclusiones

Como aproximación para solucionar la sobrestimación de la erosión hídrica promedio anual que realiza el modelo USLE/RUSLE en las condiciones de Uruguay, por no considerar la variación del contenido de agua del suelo y por tanto asumir que es siempre alto y cercano a capacidad de campo, parece razonable transformar la estimación que realiza el modelo a la medida experimentalmente, usando la regresión $Erosión\ Estimada = 1,4475 (Erosión\ Medida) - 0,7087$ hallada en este trabajo. Esa estimación de erosión medida es representativa de la que ocurre en la realidad.

Bibliografía

- García Préchac, F. (1992). *Guía para la toma de decisiones en conservación de suelos: 3ra. Aproximación*. Montevideo: INIA. (Serie Técnica, No. 26).
- García Préchac, F. (2003). Propiedades físicas y erosión en los trabajos de larga duración de La Estanzuela. En A. Morón y R. Díaz (Eds). *Simposio 40 años de rotaciones agrícolas-ganaderas* (pp. 19-23). Montevideo: INIA. (Serie Técnica, No. 134).

- García Préchac, F., Clérico, C., Hill, M. y Hill, E. (2016). *EROSION versión 6.0.20: Programa de computación para usar USLE/RUSLE en la Región Sur de la Cuenca del Plata*. Recuperado en <http://www.fagro.edu.uy/index.php/ensenanza-suelosyagua/suelos-ens-grado/curso-de-manejo-y-conservacion-de-suelos-y-aguas>
- García Préchac, F., Clérico, C. y Terra, J. A. (1999). *Avances con USLE-RUSLE para estimar erosión y pérdida de productividad en Uruguay*. Trabajo presentado en 14° Congreso latinoamericano de la ciencia del suelo [CD].
- García Préchac, F., Terra, J. A. y Clérico, C. (1998). Validación del factor uso y manejo del suelo (C) de la RUSLE en Uruguay. En *II Reunión Sul Brasileira de la Ciência do Solo* (pp. 223-226). Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Hill, M., García Préchac, F., Terra, J. A. y Sawchik, J. (2008). Incorporación del efecto del contenido de agua en el suelo en el modelo USLE/RUSLE para predecir erosión en Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 12(2), 57-67.
- Renard, K.G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K. y Yoder, D. C. (1997). *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation*. Washington: USDA. (Agriculture Handbook, 703).
- Renard, K.G., Foster, G. R., Weesies, G. A. y Porter, J. P. (1991). RUSLE: Revised universal soil loss equation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 46(1), 30-33.
- Renard, K.G., Foster, G. R., Yoder, D. C. y McCool, D. K. (1994). RUSLE revisited: Status, questions, answers, and the future. *Journal of Soil and Water Conservation*, 49(3), 213-220.
- Wischmeier, W. H. y Smith, D. D. (1960). A universal soil-loss equation to guide conservation planning. En *Transaction of 7th International Congress of Soil Science* (Vol. 1, pp. 418-425). Madison: International Society of Soil Science.
- Wischmeier, W. H. y Smith, D. D. (1978). *Predicting erosion losses, a guide to conservation planning*. Washington: USDA. (Agriculture Handbook, 537).