

**Actualización técnica del Modelo de Estimación de Pérdida de Suelo por Erosión  
Hídrica para la elaboración de los Planes de Uso y Manejo Responsable de Suelos  
(PUMRS)**

F, García Préchac, C. Clérici, G. Sánchez, M. Dell'Acqua, G. Pereira, F. Dávila, G. Ferreira, G. Olivera, M. Galain

*Introducción*

El modelo de estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica de suelo promedio anual de largo plazo, utilizado desde 2013 para elaborar los PUMRS por los Ingenieros Agrónomos acreditados para la tarea por el MGAP (programa de computación EROSION 6.0 y variantes posteriores y la versión web oficial del MGAP, Sistema de gestión de planes de uso-SGPU), incluye valores de sus diferentes variables técnicas que muy mayoritariamente fueron publicadas antes del año 2000 (ver Clérici y García Préchac, 2001).

Desde la implementación de esta política pública, se estableció que a medida que la investigación fuera generando nuevos conocimientos e información, la misma se iría incorporando al modelo oficial SGPU.

En ese sentido, si bien en los últimos años se incluyó la nueva información sobre suelos proveniente de la cartografía 1:40000 del área de la cuenca del Río Santa Lucía, la disponibilidad de nueva información y conocimiento publicados, sobre varios componentes del modelo, hace necesaria la actualización que se presenta. A continuación, se describen los referidos cambios técnicos y su fundamentación científica.

1) *Consideración del efecto en la erosión de la variación del contenido de agua del suelo dentro del año promedio*

En su actual formato, el modelo estima la erosión hídrica promedio anual asumiendo que el suelo está siempre a capacidad de campo.

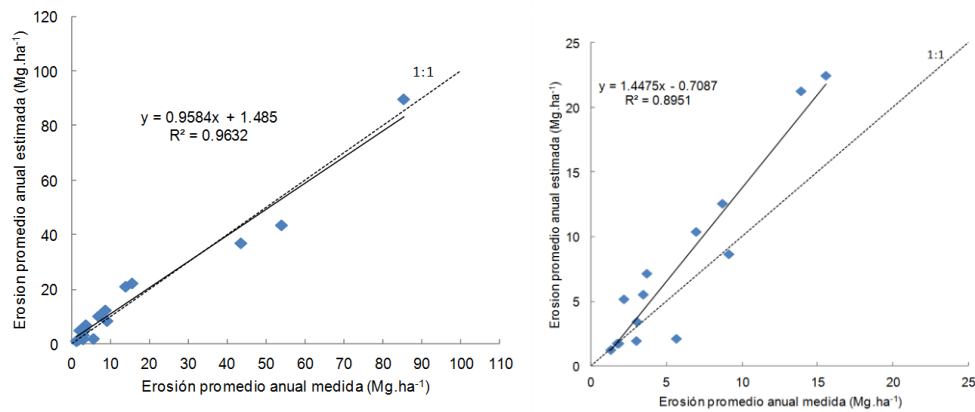
Si bien lo anterior no es real, ello deriva de que, en la principal zona agrícola de los EEUU, de donde proviene el modelo y se lo ha utilizado masivamente desde hace años, durante el invierno los suelos se congelan y se cubren por nieve. En estas condiciones no ocurre erosión en el invierno y empieza a hacerlo desde la preparación y siembra de cultivos luego de la descongelación. La estación de crecimiento vegetal anual va de primavera hasta otoño. En la misma, los suelos comienzan con alto contenido de agua y a medida que la vegetación crece y la consume por transpiración es repuesta por las lluvias, cuya distribución anual determina mayor cantidad en primavera hasta inicios del verano. Esto explica, en gran medida, los altos rendimientos que allí logran en cultivos de verano en seco, no limitados por otros factores de crecimiento manejables. Entonces, esos suelos permanecen con alto contenido de agua durante buena parte de la estación de

crecimiento, en particular, en las primeras etapas de los cultivos, cuando aún no cubren el suelo; esto explica que el modelo original no considerase la variación del contenido de agua del suelo dentro del año.

En el caso de nuestro país, ocurre promedialmente déficit de agua desde la primavera hasta el otoño, porque el régimen de precipitaciones no repone la mayor pérdida por evapotranspiración en dicho período. Ello reduce el escurrimiento cuando llueve y por lo tanto, la erosión hídrica. Esto significa que el modelo en su estado actual sobre estima la erosión promedio que ocurre en la realidad. Ello se ha reconocido y medido experimentalmente en las parcelas de escurrimiento (García Préchac, 1992) y fue motivo de estudios específicos en busca de una solución incorporable al modelo (Hill et al., 2008). En la versión revisada del modelo, conocida como RUSLE (Renard et al., 1997), se presenta el procedimiento de corrección. Implica estimar el contenido de agua promedio del suelo en cada período de cultivo, para calcular un factor de corrección. Para ello se debería elaborar un balance hídrico del suelo detallado para cada caso (sitio, suelo, topografía, rotación) que se quiera modelar. Se entendió que esa es una solución compleja de elaborar por los usuarios y sujeta a varios posibles errores, más allá de su buena performance en resolver la sobre estimación referida en los casos de los sistemas ensayados en los 3 sitios en que hubieron parcelas de escurrimiento (Hill et al., 2008). Lo que puede implicar el mayor error es la estimación de la relación infiltración/escurrimiento en cada período de cada cultivo y/o pastura en los que se separa la modelación para cada rotación concreta; pero existen otras fuentes de error adicionales.

Por lo anterior, en la aplicación del modelo a la política de conservación de suelos desde 2013 se optó por usarlo sin consideración del efecto antes discutido, sabiendo, además, que la sobre estimación de la erosión significa mayor seguridad en el logro del objetivo de conservación buscado.

Pero se ha continuado trabajando y pensando la manera de corregir la sobre estimación y ella fue propuesta en una publicación reciente (García Préchac et al., 2017). Consiste en aplicar la regresión obtenida entre la erosión estimada y medida experimentalmente, de todos los casos estudiados en las parcelas de escurrimiento en 3 suelos y sitios geográficos diferentes, en los que existieron sistemas de producción reales con ocurrencia de evapotranspiración normal. Esto es, excluyendo los 3 casos de suelo desnudo permanentemente, afinado como para una siembra convencional a favor de la pendiente principal, que es el estado experimental de referencia contra el que se compara todos los demás casos para establecer lo que en el modelo se llaman Relaciones de Pérdida de Suelo (RPS). En esas condiciones, en los 3 casos experimentales indicados, ocurre que luego de secarse unos pocos centímetros de la superficie se corta la evaporación y el contenido de agua de los suelos permanece cercano a capacidad de campo por no existir transpiración, aún en verano. Dicha regresión (ver Fig. 1) permite transformar lo estimado por el modelo en el resultado experimental de largo plazo, que es la mejor medida que disponemos de lo que ocurre en la realidad.



**Figura 1.** A la derecha, se presenta la regresión entre todos los datos experimentales promedio de largo plazo obtenidos en parcelas de escurrimiento en 3 sitios y suelos diferentes (eje de las “x”) y la estimada por el modelo en su estado actual (eje de las “y”). Eliminando los 3 puntos de valores mayores que corresponden a los casos de referencia (suelo desnudo permanentemente) en los 3 sitios, se obtiene la regresión que se muestra en la figura de la derecha.

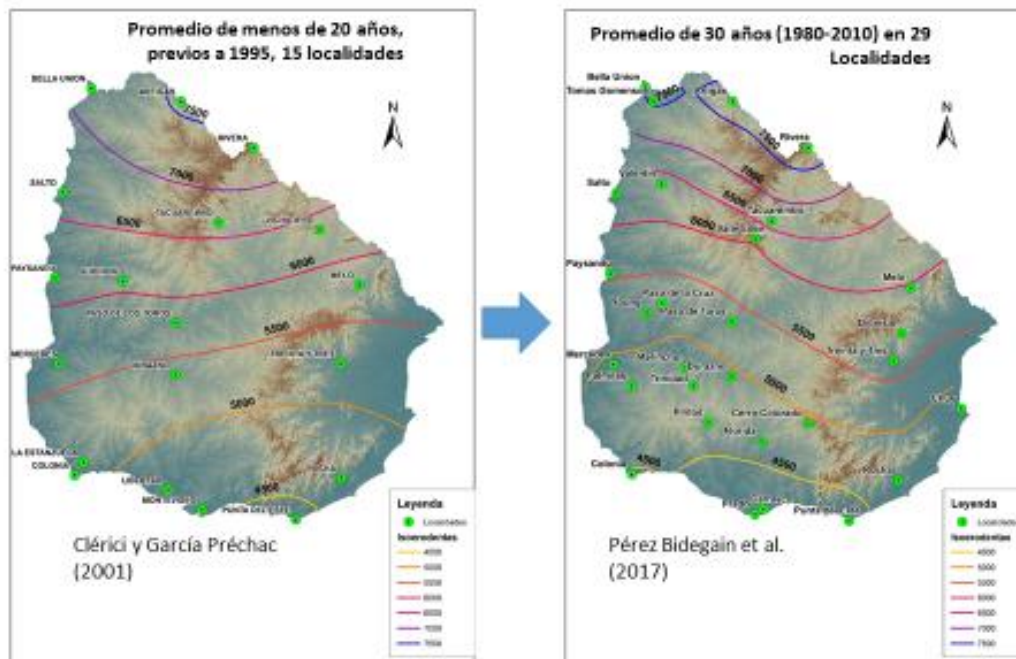
En los valores de erosión alrededor de la tolerancia más frecuente (7 Mg/ha. año), las estimaciones se reducen en torno al 20% cuando se aplica la corrección que se introduce.

Pero, ella no será aplicable en los sistemas productivos regados, ya que, justamente, dicha tecnología tiende a mantener el suelo en valores altos de contenido de agua durante el período en que, en seco, los suelos tienen su menor contenido de agua, en el promedio de años.

2) Actualización de los valores de erosividad de las lluvias (Factor R del modelo) y su distribución dentro del año promedio

La información en el modelo actual sobre este Factor fue recopilada y analizada no más allá de 1995 (Clérico y García Préchac, 2001). Además, provenía de series no sincrónicas (sin comienzo y fin en los mismos años) ni del mismo número de años estudiados, en las 15 localidades en las que se tenía información dentro del territorio nacional (ver Fig. 2). Además, ninguna de estas series sobrepasaba 20 años y en varios casos, apenas superaba los 10 años.

Recientemente (Pérez Bidegain et al., 2017), se ha publicado un estudio que utilizó la información pluviométrica de INUMET desde 1980 a 2010, en casi el doble de localidades que la anterior en todo el país (ver Fig. 2). Es decir, la nueva información y su procesamiento para obtener el Factor R, proviene de una serie sincrónica de 30 años que llega hasta muy cerca del presente. Los dos mapas fueron elaborados por métodos geoestadísticos.

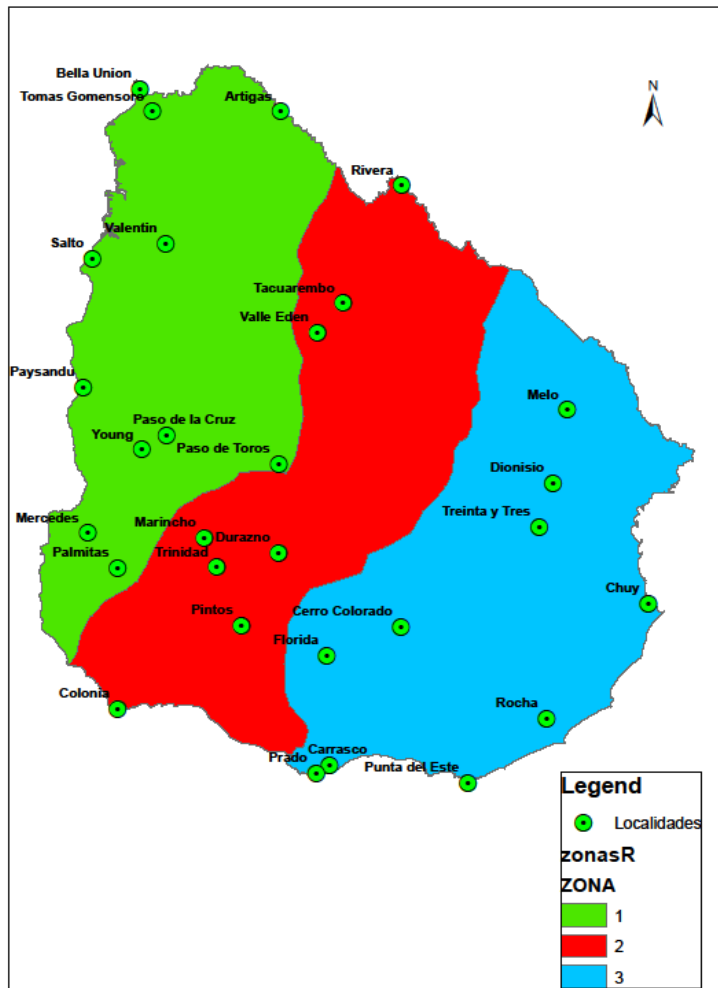


**Figura 2.** A la derecha se presenta el mapa del Factor R del modelo obtenido por kriging de los valores actualmente en uso y a la izquierda, el que resulta de utilizar los valores obtenidos por Pérez Bidegain et al. (2017).

En la comparación de los dos mapas de isoerodentías (iguales valores de R) de la Fig. 2, surge que con la actualización, hay una cierta disminución de los valores en el litoral suroeste y hacia el centro del país, y un aumento significativo en la parte centro y norte de la cuenca de la Laguna Merim.

El nuevo mapa de distribución de R en todo el país, incluido en el SGPU, permite que el mismo adjudique automáticamente el valor que corresponde al centroide de cualquier polígono que se marque para la elaboración de un PUMR. Es decir, no tendrá el usuario que elegir el dato disponible más cercano a su caso; esto lo hará automáticamente el programa al dibujar un polígono.

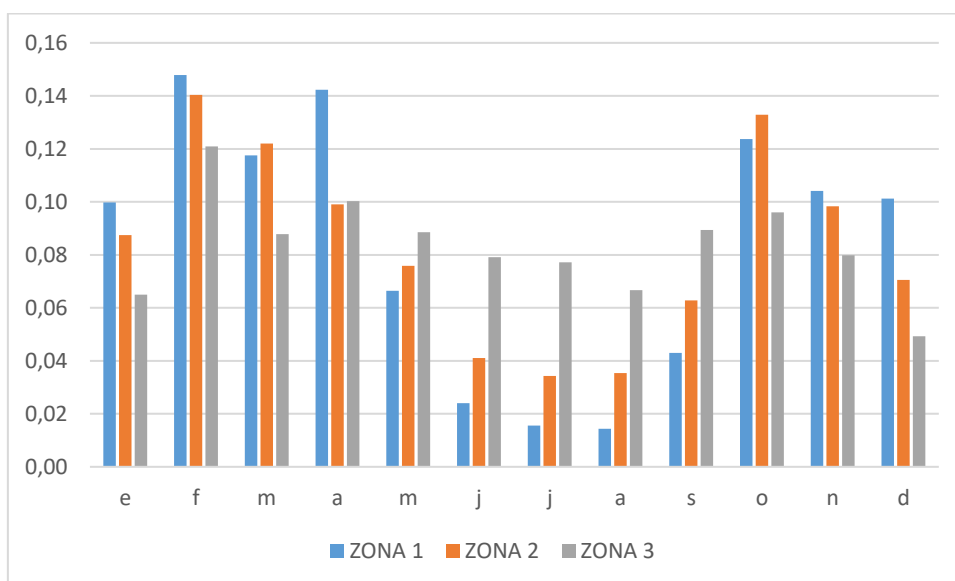
Otro elemento necesario para el cálculo del Factor C (Uso y Manejo), es la distribución del R dentro del año promedio. Se procedió a estudiar la distribución del R de las diferentes localidades y buscar algún indicador de la misma que pudiera también ser procesado geoestadísticamente para generar un mapa de distribución intra anual del R, que opere en igual forma que como se explicó para el valor de R en la nueva plataforma, al seleccionar un polígono. Se probaron varios y finalmente se optó por el que marca las mayores diferencias a escala del país; se trata de la suma de las proporciones del valor de R que ocurren en la suma de los meses de verano y otoño, dividida por la suma de las que ocurren en invierno y primavera (Fig.3).



**Figura 3.** Zonas de valor homogéneo de la relación Suma de la proporción del R promedio anual en verano más otoño, dividida Suma de la misma proporción en invierno más primavera.

La figura surge del procesamiento estadístico según el cual, el coeficiente de variación del indicador elegido tuvo una media general nacional de 1,45 y un coeficiente de variación de 29,4%. En cambio, las medias y los coeficientes de variación del indicador en cada una de las 3 zonas de distribución del R fueron 2,09 y 8,6% en la Zona 1, 1,47 y 7,8% en la Zona 2 y 1,05 y 7% en la Zona 3. Por lo tanto, la distribución del R dentro del año es relativamente homogénea en cada una de las 3 zonas definidas (bajo coeficiente de variación zonal comparado con 29,4% para todo el país).

El valor medio del indicador elegido en cada una de las tres zonas definidas significa que en el noroeste la distribución del R dentro del año muestra mayor erosividad de las lluvias en el período estival-otoñal y menor en el invierno-primaveral. En el otro extremo, en la zona este la distribución de la erosividad promedio anual es la más pareja dentro del año. La distribución en la zona central es intermedia entre las otras dos (Figura 4).



**Figura 4.** Proporción del R promedio anual en cada mes del año para cada una de las 3 zonas definidas en la figura 3.

3) Limitación de la magnitud del porcentaje de suelo cubierto por residuos a la siembra.

Los valores de porcentaje de la superficie del suelo cubierta por residuos a la siembra en los PUMRS presentados, elaborados por Ings. Agrónomos acreditados, han sido sobre estimados. Esto fue verificado por dos trabajos de tesis de graduación en la Facultad de Agronomía, dirigidas por el Prof. Oswaldo Ernst en la EEMAC-FAGRO-UDELAR (Lioni y Sapriza, 2015; Ferreira y Ferreira, 2016). Los trabajos se realizaron en 17 predios en el Departamento de Paysandú durante dos años.

En base a esos trabajos y a observaciones propias de los técnicos de la Regional Paysandú de la DGRN-MGAP, se propusieron incorporar al SGPU, las limitaciones que se indican en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Propuesta de limitación del porcentaje del suelo cubierto por residuos a la siembra (CS) en las secuencias de cultivos y rastrojos que se indican. Las dos últimas columnas centrales presentan el valor promedio utilizado en los PUMRS presentados y el porcentaje de ellos en que dichos valores superan la restricción.

Combinación de componentes en la rotación		Valor de CS propuesto como Restricción a la siembra del cultivo posterior (%máximo)	Valor promedio de CS utilizado en Planes declarados (%)	% de Planes con valor de CS>Restricción <sup>&amp;</sup>
BQmaíz	soja	70 <sup>©</sup>	86	97%
BQsoja	soja		89	97%
Cereal de invierno	soja	BQsoja	79	73%
CC	soja		79	78%
BQmaíz	soja		82	99%
BQsorgo	soja		81	99%
BQsoja	soja		83	99%
todas	Soja	sin restricción	82	73% utilizaron valores superiores a 80%
todas	Sorgo o Maíz	sin restricción	85	79% utilizaron valores superiores a 80%
todas	Cereal de invierno	sin restricción	80	61% utilizaron valores superiores a 80%
todas	BQ Maíz/Sorgo	advertencias cuando >80%	84	55% utilizaron valores superiores a 80%

CC: Cultivo de Cobertura. <sup>&</sup>: Porcentaje sobre los planes que contienen esa combinación de componentes. \*: Valor promedio de las rotaciones que contienen la combinación analizada. <sup>©</sup> Restringir valor máximo de cobertura a 70 % si el cultivo cobertura fue sembrado posterior al 1/6.

Se hace notar que las restricciones propuestas y que se incorporan al programa de computación oficial son en las secuencias que incluyen barbechos (BQ) antes o después de un cultivo de soja.

#### 4) Consideraciones finales

A cinco años de la implementación de los PUMRS se sigue capitalizando la información y conocimiento generados por la investigación nacional para mejorar las estimaciones de pérdidas de suelo por erosión hídrica.

Desde el MGAP se continúa trabajando junto con la Facultad de Agronomía de la UDELAR y el INIA para detectar necesidades de información e incorporando mejoras en el modelo, para dotar de la mejor herramienta posible a los técnicos para la correcta planificación del uso y manejo del suelo. Por ejemplo, aspiramos a llegar a un modelo simple que, a partir de los rendimientos en grano previsible de los cultivos en los planes, se pueda estimar más objetivamente el porcentaje de suelo cubierto por residuos a la siembra de cualquier cultivo de la secuencia proyectada.

Cada vez que la administración entienda que hay nuevo conocimiento e información relevantes para mejorar la performance predictiva del modelo se realizarán nuevas actualizaciones técnicas del mismo.

### 5) Referencias

Clérici, C y F. García Préchac 2001. Aplicaciones del modelo USLE/RUSLE para estimar pérdidas de suelo por erosión en Uruguay y la región sur de la cuenca del Río de la Plata. *Agrociencia*. (Uruguay) V (1): 92 - 103.

Ferreira, A.L. y S.M. Ferreira (2016). Cobertura del suelo por rastrojo a la siembra de soja para diferentes secuencias de cultivos. Tesis de grado, Universidad de la República (Uruguay), Facultad de Agronomía.

García Préchac, F. (1992). Guía para la toma de decisiones en conservación de suelos, 3ra. Aprox., INIA, Serie Téc. No. 26, 63 p.

García Préchac, F., J.A. Terra, J. Sawchik y M. Pérez Bidegain (2017). Mejora de las estimaciones con USLE/RUSLE empleando resultados de parcelas de escurrimiento para considerar el efecto del agua del suelo. *Agrociencia* (Uruguay), XII (2):100-104.

Hill, M., F. García Préchac, J.A. Terra y J. Sawchik (2008). Incorporación del efecto del contenido de agua en el suelo en el modelo USLE/RUSLE para predecir erosión en Uruguay, *Agrociencia* (Uruguay) XII (2): 57-67.

Liori, F. y J. Sapriza (2015). Determinación de cobertura del suelo durante el período I (modelo erosión 6.0) para cultivos de soja sembrados luego de distintos antecesores. Tesis de grado, Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Agronomía.

Pérez Bidegain, M., J.M. Piaggio, W. Baethgen y F. García Préchac (2017). Actualización del factor erosividad de la lluvia en Uruguay. *Agrociencia* (Uruguay) XII (2): 91-99.

Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool, and D.C. Yoder, coordinators. 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 703. 384p.



