

LA EROSIÓN HÍDRICA EN EL PIEDEMONTES ÁRIDO DE MENDOZA

HYDRIC EROSION IN THE ARID PIEDMONT OF MENDOZA

Alberto I.J. Vich y Armando Pedrani

Alberto I.J. Vich

Ing. Rec. Hídricos, Maestría en Ciencias, Investigador del CONICET, Prof. titular UN Cuyo. Responsable de la Unidad Ecología y Manejo de Cuencas Hídricas, director del programa Manejo Ecológico del Piedemonte.

Eng. in Hydric Res. Master of Science, CONICET researcher, Prof. at the Univ. of Cuyo. In charge of the Unit "Ecology and Management of Hydric Basins", Director of the Program "Ecological Management of the Piedmont".

Armando Pedrani

Ing. Agr., co-responsable del Programa "Manejo Ecológico del Piedemonte". Trabaja en manejo de cuencas con énfasis en el manejo de la vegetación natural.

Ag. Engineer, in charge of the Program "Ecological Management of the Piedmont". He works on watershed management with emphasis on wild vegetation.

(English version by M.E. Soler)

La predicción de la tasa de erosión hídrica es un factor importante para obtener una imagen precisa de una cuenca, con miras al establecimiento de programas de manejo.

La erosión hídrica es un fenómeno complejo, del cual existen numerosos métodos para su predicción. Dichos métodos fueron desarrollados a partir de mediciones en áreas agrícolas, pero son muy escasos los esfuerzos realizados para su validación en áreas silvestres. En Argentina, las mediciones de pérdidas de suelo en las zonas cultivadas son escasas, y en las regiones naturales prácticamente no existen, excepto las que aquí se muestran.

Uno de los métodos más comúnmente usados es la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (**EUPS**), previa determinación local de sus parámetros. Su expresión es:

$$A = 2240.0 K R L S C P$$

Donde: **A** es pérdida de suelo en kg/ha; **K** es factor de erodabilidad de suelos; **R** es factor de erosividad de lluvia; **LS** es factor topográfico; **C** es factor de cobertura; **P** es factor de prácticas conservacionistas. La EUPS ha sido desarrollada para la predicción de la tasa anual de erosión. En el

presente trabajo, se examina su aplicación y se plantean modificaciones para su adecuación a la región. Asimismo se la emplea en la predicción de erosión generada por un evento particular. Ello se justifica en el hecho de que, en la región, las tormentas que generan pérdidas de suelo son poco frecuentes; generalmente una parte sustancial del monto anual ocurre durante una tormenta, máxime en ausencia de, o con baja cobertura vegetal.

La experiencia se lleva a cabo en la Cuenca Aluvional Piloto, al oeste de la ciudad de Mendoza, localizada en la cerrillada pedemontana, a los 32°52' LS y 68°52' LO. Los suelos muestran perfiles de escasa diferenciación, con presencia de material originario, cantidad variable de carbonato en el subsuelo y pobre contenido de materia orgánica. El clima es subtropical templado semiárido, con precipitación media anual de 198 mm, concentrada en el período estival, y temperatura anual media de 16,1 °C.

Las mediciones de pérdidas de suelo (**PS**) se realizaron en 6 parcelas, agrupadas en 2 conjuntos de 2, 4 y 8 m; suelo

The prediction of the hydric erosion rate is important to obtain a precise image of a watershed, in order to establish management programs

The hydric erosion is a complex phenomenon and there are numerous methods for its prediction. These methods were developed from measurements in agricultural areas, but efforts for their validation in wild areas are scarce. In Argentina, measurements of soil losses are scarce in cultivated areas, in wild areas there is almost an absolute lack of them, except those here shown.

One of the most commonly used methods is the Universal Soil Loss Equation (USLE), with a previous parameter determination. It is expressed as follows:

$$A = 2240.0 K R L S C P$$

Where A is loss of soil in kg.ba⁻¹; K is soil erodability factor; R is rain erodability factor; LS is topographic factor; C is cover factor; P is conservationist practiques factor. The USLE has been developed for the prediction of the erosion yearly rate. This work examines its application and poses modifications for its adequation to the Mendoza arid piedmont region. Likewise, it is

used to predict erosion provoked by a particular event. This is because in the region storms provoking soil loss are not frequent; generally a substantial part of the loss yearly amount occurs during a storm, considering the low plant cover or the lack of it.

The experience is carried out in the Cuenca Aluvional Piloto (Pilot Alluvial Watershed), west of the city of Mendoza, situated in the piedmont hills, at 32° 52' SL and 68° 52' WL. Soils show profiles with: scant differentiation, presence of the source material, variable amount of carbonate in the subsoil and poor content of organic matter. The climate is subtropical warm semiarid, with mean annual precipitation of 198 mm, concentrated in the summer season, and 16.1 °C mean annual temperature.

Measureings for loss of soil (SL) were carried out in six plots, grouped in two sets of 2, 4 and 8 m; bare soil with south and east exposure and variable slope, between 33.6 and 41%. Observations started in 1982 and continue to the present times. Precipitations considered erosive have a maximum intensity threshold in 30 minutes (I₃₀) of 16.0 m . h⁻¹. Only 39 events were recorded

desnudo, con exposiciones sur y este y pendiente variable, entre 33,6 y 41%. Las observaciones se iniciaron en el año 1982 y continúan a la fecha. Las precipitaciones consideradas erosivas poseen un umbral de intensidad máxima en 30 min (**I30**) de 16,0 mm/h. Para el período 1982-93 se registraron únicamente 39 eventos, de los cuales el 28% fue mayor de 30 mm.

Los períodos 1985-86 y 1988-89 fueron años secos, sin que se registrara ningún evento de carácter erosivo; los años 1983-84 y 1989-90, son años húmedos con un elevado número de lluvias erosivas; el 1984-85 es un año húmedo, pero sin precipitaciones erosivas; y el período 1986-87 no cuenta con observaciones debido a daños por vandalismo. En total se dispone de 137 registros de pérdidas de suelo de eventos individuales, para las 6 parcelas. El 34% corresponde a $PS < 1000$ kg/ha, el 27% a $1000 < PS < 2000$ kg/ha, y el resto a $PS > 2000$ kg/ha.

En función de la información de campo se realizó el ajuste de EUPS. El factor **R** fue reemplazado por una expresión simplificada local, que al correlacionarse con el factor calculado a partir de la metodología original, mostró un comportamiento altamente satisfactorio, aunque el mismo no explica adecuadamente las variaciones en las pérdidas de suelo. En consecuencia, resulta evidente la necesidad de encontrar un nuevo factor de erosividad. Se propusieron dos formas: la primera es una combinación lineal de **R** y el escurrimiento (**Q**), mientras que la segunda está dada por el producto de **I30** y **Q**. Los nuevos modelos de pérdida de suelo resultan ser:

$$A = 2240 K [ALFA R + (1 - ALFA) Q] LS C P$$

$$A = 2240 K (I30 Q)^{BETA} LS C P$$

El factor **K** se calculó con los valores acumulados para la serie completa. Si se emplea la metodología propuesta por los autores de la EUPS, los valores de **K** difieren sustancialmente. Ello es debido a la presencia de fragmentos de roca en superficie y perfil, situación no contemplada en la metodología original. Es por ello que se adoptó este último valor de **K** y se incluyó en el factor **C**, el efecto protector de los fragmentos, ya que las parcelas se encuentran libres de vegetación. Las parcelas no poseen ningún tratamiento para atenuar la erosión, por lo que el factor **P** posee un valor unitario. Por lo tanto, la protección del suelo está dado únicamente por la cobertura o contenido de fragmentos gruesos en el suelo; este efecto se cuantificó al realizar el ajuste de los modelos propuestos.

El factor topográfico **LS** empleado es el propuesto por los autores de la EUPS, dado que no ha sido posible verificar el efecto de la longitud sobre el proceso de erosión por falta de información; en tanto, que el efecto del gradiente muestra una ecuación similar a la propuesta por los autores.

El ajuste de los modelos propuestos se realizó por optimización de distintas funciones objetivos, en cada una de las parcelas. Los parámetros que se ajustaron fueron: **K** y **C**; **K**, **C** y **ALFA**; y **K**, **C** y **BETA**, en el modelo original y en los dos propuestos respectivamente. Los parámetros muestran algunas diferencias entre parcelas y modelos. Ello es debido a que en las parcelas pequeñas, las variaciones en el microrrelieve poseen gran influencia sobre el escurrimiento y en consecuencia sobre los subprocesos de disgregación y transporte; por otra parte, el contenido de

for the 1982-93 period, of which the 28% was higher than 30 mm.

The periods of 1985-86 and 1988-89 were dry, without events of erosive character; the years 1983-84 and 1989-90 are humid years with a high number of erosive rains; 1984-85 is a humid year but without erosive precipitations, and there are no observations for the 1986-87 period, owing to intentional damage in the watershed. There is a total of 137 records of soil losses from individual events for the 6 plots. The 34% correspond to $SL < 1000$ kg/b, 27% to $1000 < SL < 2000$ kg/ha, and the rest to $SL > 2000$ kg/b.

The adjustment of the USLE was done according to the field information. The **R** factor was replaced by a local simplified expression, that when correlated to the factor calculated from the original methodology showed a highly satisfactory behavior, although the same does not satisfactorily explain the variations in the soil losses. Consequently, the need to find a new erodability factor is evident. Two ways were proposed: the first one is a lineal combination of **R** and the runoff (**Q**), while the second is given by **I30** and **Q**. The new models for soil loss are:

$$A = 2240 K [ALPHA R + (1 - ALPHA) Q] LS C P$$

$$A = 2240 K (I30 Q)^{BETA} LS C P$$

The **K** factor was calculated with the values accumulated for the complete series. If the proposed methodology is used for the USLE authors, the **K** values differ substantially. This is because of the presence of rock fragments in the surface and in the profile, a situation not considered in the original methodology. This is the reason why this last **K** value was adopted and was included in the **C** factor; the protective effect

of the fragments, as the plots are free of vegetation. The plots do not have a treatment to attenuate erosion, therefore the **P** factor has a unitary value. This way, the soil protection is only given by the cover or by the content of coarse fragments in the soil. This effect was quantified when making the adjustment of the proposed models.

The topographic factor used is that proposed by the authors of the equation, because it has not been possible to verify the longitude effect over the erosion process owing to the lack of information, while the gradient effect shows an equation similar to that proposed by the authors.

The adjustment of the proposed models was done through the optimization of the different object functions in each one of the plots. Parameters adjusted were: **K** and **C**; **K**, **C** and **ALPHA**; and **K**, **C** and **BETA** in the original model and on those originally proposed. Parameters show some differences between plots and models. This is because in the small plots the microrelief variations have a great influence over the runoff, and consequently over the disintegration and transport subprocesses. On the other hand, the gravel content varies from one plot to the other.

Because plots are settled on the same type of surface and are close between them, it was decided to determine an only group of parameters for each model. With this object, it was selected the group that minimized the relative square error (**RSE**) using the total set of data and the variation range of the parameters determined by the optimum of the individual plots. The same procedure was applied to the total of yearly data. A better behavior of the models is observed, when presenting **RSE**

gravas es variable de una parcela a otra.

Dado que las parcelas se asientan sobre un mismo tipo de superficie y se encuentran próximas entre sí, se decidió determinar un único grupo de parámetros para cada modelo. Para ello, se seleccionó aquel grupo que minimizaba el error cuadrático relativo (**ECR**) empleando el conjunto total de datos y el rango de variación de los parámetros determinados por los óptimos de las parcelas individuales. El mismo procedimiento fue aplicado al total de datos anuales. Se observa un mejor comportamiento de los modelos, al presentar **ECR** considerablemente inferiores a los hallados para eventos individuales.

Los modelos analizados poseen algunos parámetros comunes (**K** y **C**), que por lo tanto deberían poseer el mismo valor. Los óptimos obtenidos, no verifican esta condición, aunque no presentan grandes diferencias. Por lo tanto se realizó un análisis de sensibilidad con el objeto de verificar la bondad de los modelos y ajustar los parámetros.

Del análisis de sensibilidad se desprende que los parámetros de los distintos modelos poseen un amplio rango de variación para un valor mínimo o similar de **ECR**; por lo que este procedimiento no resulta el más adecuado. Por ello, a partir de la confrontación de los valores observados con los calculados, se adoptaron los parámetros que mejor estimen la media y expliquen las variaciones en las pérdidas de suelo para el conjunto total de datos; los resultados se muestran en las **Tablas 1 y 2**.

Por definición, el factor **K** se calcula en base a partículas de suelo menores de 2,0 mm. La influencia del contenido de fragmentos gruesos es más

adecuado cuando se analiza su efecto como un elemento protector del suelo; es decir como un subfactor que se integra en el factor **C**. Por otra parte, el contenido de fragmentos gruesos en superficie o en el perfil del suelo posee una gran variabilidad, sobre todo en suelos de origen aluvial, donde resulta muy difícil encontrar un coeficiente de corrección.

La aplicabilidad de la EUPS para predecir pérdidas de suelo de eventos individuales no es satisfactoria. La mayor parte de las predicciones muestra un carácter aleatorio, ya que las variaciones en las pérdidas de suelo no se explican en función de la variación en las características de precipitación y escurrimiento.

A nivel de dato anual, los modelos muestran mejores predicciones, aunque no es posible adoptar alguno en particular, ya que sus estadísticos son similares. Es conveniente señalar que cuando las pérdidas de suelo son generadas por unos pocos eventos, la aplicación del modelo 3 en esta situación puede llevar más a conclusiones erróneas que a certeza, por lo que resulta indispensable recolectar mayor información.

REFERENCIAS REFERENCES

- BOX, J. and L. MEYER. 1984. Adjustment of the USLE for cropland soils containing coarse fragments. En: Erosion and productivity of soils containing rock fragments. SSSA Special Publications, 13:83-90.
- MCCORMACK, D.; K. YOUNG and G. DARBY. 1984. Rock fragments and the K factor of the USLE. En: Erosion and productivity of soils containing rock fragments. SSSA Special Publications, 13:73-81.

considerably lower to those found in the individual events.

The analyzed models have some common parameters (**K** and **C**) that should then have the same

value. The obtained optima do not verify this condition although they do not present great differences. Therefore a sensibility analysis was done to

TABLA 1
TABLE 1

Parámetros de los modelos propuestos
Pérdidas de suelo diarias para el conjunto de datos
Parameters of the proposed models
Daily soil losses for the set of data

	Nº eventos	PS obs. Obs. SL	PS simulados Simulated SL		
			Mod 1	Mod 2	Mod 3
X [kg/ha]	137	1759,4	1196,7	1423,5	1606,9
CV [%]		109,3	109,7	96,6	75,6
K			0,27	0,27	0,27
C			0,03	0,05	0,05
ALFA				0,42	
BETA					0,49
ECR RSE			47,20	44,00	43,67

TABLA 2
TABLE 2

Parámetros de los modelos propuestos
Pérdidas de suelo anuales para el conjunto de datos
Parameters of the proposed models
Yearly soil losses for the set of data

	Nº eventos	PS obs. Obs. SL	PS simulados Simulated SL		
			Mod 1	Mod 2	Mod 3
X [kg/ha]	6	6516,7	6101,5	5190,5	5514,6
CV [%]		83,5	100,3	99,8	69,6
K			0,27	0,27	0,27
C			0,04	0,04	0,04
ALFA				0,70	
BETA					0,49
ECR RSE			28,95	27,00	22,40

- VICH, A. 1987. Determinación de los índices de erosividad para tormentas individuales en el área aluvional del Gran Mendoza (Argentina). Inédito.
- WISCHMEIER, W. and J. MANNERING. 1969. Relation of soil properties to its erodibility. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 33:131-137.
- WISCHMEIER, W.; C. JOHNSON and B. CROSS. 1971. A soil erodability nomograph for farmland and construction sites. J. Soil Water Conserv., 26:189-193.
- WISCHMEIER, W. and D. SMITH. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. USDA-SEA. Agriculture Handbook No 537.
- YOUNG, R.; M. ROMKENS and D. MCCOOL. 1990. Temporal variations in soil erodibility. En: R.B. Bryan (editor) Soil erosion, experiments and model. pp.41-53.
- verify the goodness of the models and to adjust the parameters.*
- From the sensibility analysis, it is gathered that the different models parameters have a wide scope of variation for a minimum value or similar **RSE**, this is the reason why this procedure is not the most adequate. So, starting from the confrontation of the observed and the calculated values, the parameters adopted where those that best estimate the mean and that explain the variations in the soil losses for the total set of data; the results are shown in **Tables 1** and **2**.*
- By definition the factor **K** is calculated based on soil particles smaller than 2.0 mm. The influence of the coarse fragments content is more adequate when its effect as soil protective element is analyzed; that is as a subfactor integrated in **C**. On the other hand, the coarse fragments content on the surface or in the soil profile has a great variability, mostly in soils of alluvial origin, where it is very difficult to find a correction coefficient.*
- The USLE applicability to predict soil losses because of individual events is not satisfactory. Most of the predictions show an aleatory character, as the variations in the soil losses are not explained by the variation in the precipitation and runoff characteristics.*
- At annual datum level, models show better predictions, although it is not possible to adopt a particular one as their statistics are similar. It is convenient to point out that when the soil losses are originated by a few events, the application of model 3 is more likely to lead to mistaken conclusions than to surety, which makes it imperative to gather more information.*