

## LA ECUACION UNIVERSAL DE EROSION

### 1a. parte

*Ing. Agr. Fernando J. Mojica, M.Sc.*  
*Escuela de Ciencias Agrarias*  
*Universidad Nacional*

**Resumen.**— La erosión de los suelos agrícolas, la protección del manto vegetal en laderas inclinadas, la conservación de la fauna son temas de actualidad nacional y su problemática incluida como tema de análisis o discusión en los programas de varias carreras universitarias. El autor desea aportar elementos de juicio para enfrentar científicamente el problema de la erosión edáfica; para él “el control de un fenómeno físico o mecánico no se lleva a buen término si el proceso de desarrollo del fenómeno no es entendido, los factores que lo determinan no pueden ser medidos y las mediciones presentadas en una ecuación”. En este artículo se hace una revisión de los intentos para cuantificar el fenómeno mediante la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.

**Abstract.**— The erosion of agricultural soils, protection of the natural cover on sloping and wild life conservation are now national issues and they are principal subjects of several courses in the universities. The author wants to contribute with some viewpoints or how to scientifically take up the problem of edaphic erosion. For him, “the control of the physical or mechanical phenomenon is not well carried out if the processes involved in the phenomenon itself are not understood, or the determining factors are not measured and written down in a equation”. This paper reviews the attempts of quantifying the phenomenon by the application of the Universal Equation of Soil Loss.

**Resume.**— L'érosion des sols agricoles, la protection du couvert végétal sur les fortes pentes, la conservation de la faune sont des thèmes d'actualité nationale et leur problématique inclue comme thème d'analyse ou discussion dans le programmes de plusieurs carrières universitaires. L'auteur veut apporter des éléments de jugement pour affronter scientifiquement le problème de l'érosion des sols; pour lui, “le contrôle d'un phénomène physique ou mécanique n'est

pas traité à fond si on ne comprend pas le processus d'évolution du phénomène et si les facteurs déterminants ne sont pas mesurés et des mesures présentées en une equation. Dans cet article, on passe en revue les essais de quantification du phénomène, au moyen de l'application de l'Equation Universelle de Parte de Sol.

## Introducción

Actualmente está de moda el tema de la conservación de los Recursos Naturales tanto renovables como no renovables, pero desafortunadamente el suelo que es un recurso hasta cierto grado renovable, poco se tiene en cuenta.

Los conservacionistas, en general, se preocupan sólo por la destrucción de los bosques o de la fauna y flora; casi a diario en los periódicos se puede ver este aspecto.

Las diferentes carreras de la Facultad que están ligadas con la formación de un profesional que conozca de la realidad nacional, presentan en sus programas de carrera temas como: Planificación de la tierra, uso potencial de la tierra, o geografía de los suelos.

Para esto se necesita tener una sólida formación en el campo respectivo, y este trabajo tiende a ser una ayuda en este sentido. Todavía se habla de "este suelo tiene una erosión leve o aquél es muy susceptible a la erosión", etc. pero sin cuantificación del fenómeno aunque vivimos en una época en que las computadoras son una ayuda extraordinaria, un aspecto tan importante como es éste sólo se trata cualitativamente.

En este primer borrador, se trata de entregar una guía para determinar exactamente la cantidad de suelo que se pierde en un área determinada. En sucesivas notas se irá profundizando sobre el tema.

Desafortunadamente hay varios factores limitantes, sin embargo pueden ser solucionados o reducidos:

### 1. Clases de estaciones meteorológicas

- a) Por lo general las estaciones que existen en el país son muy recientes y no tienen un historial adecuado (20 años); y
- b) Los datos que se recogen son totales o promedios debido a que en su mayoría tienen aparatos de lectura directa.

2. **Erodabilidad de los suelos.** Para esto se necesita hacer experimentos en cada tipo de suelo y con diferentes cultivos. En Costa Rica los estudios al respecto son nulos.
3. **Prácticas de conservación de suelos.** No existe en el país una tradición en el uso de métodos para conservación del suelo como tampoco un plan nacional. Mientras que para todo hay planes, para el suelo, sustento de todo lo demás, no hay absolutamente ninguno.
4. **Estudios fenológicos de los cultivos.** Este aspecto que es fundamental es tal vez en donde más avance hay en el país, pero todavía hace falta darle mayor importancia.
5. **Mapa de suelos del país.** Existen trabajos aislados, pero desafortunadamente se han utilizado diferentes metodologías. Actualmente la Oficina de Planificación del Sector Agropecuario (OPSA) está elaborando uno.
6. **Levantamiento de suelos.** Los levantamientos que hay en el país son de tipo general, muy pocos de ellos están semidetallados. Estos últimos con fines muy específicos y que, en relación al país, tal vez no alcanzan al 0.1%.

## LA ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO

El control de un fenómeno físico o mecánico no se lleva a buen término, si el proceso de desarrollo del fenómeno no es entendido. El entendimiento de un proceso se consigue sólo cuando los factores que lo determinan pueden ser medidos y las mediciones presentadas en una ecuación (United States, Department of Agriculture, 1961).

Uno de los fenómenos que cabe dentro de los conceptos del párrafo anterior es el control de la erosión. Los factores que lo determinan han venido siendo estudiados hace mucho tiempo. A partir de 1940 se empezaron a desarrollar ecuaciones tendientes a calcular las pérdidas de suelo en campos bajo cultivos.

A finales de 1956, investigadores del Servicio de Agricultura de los Estados Unidos de Norte América concentraron sus esfuerzos y desarrollaron una ecuación de predicción de pérdida de suelo, que pudiese ser universalmente aplicada en cualquier lugar donde las lluvias causen pérdidas significativas.

Esta ecuación, como la indican Wischmeier y Smith (1965), ha tenido muchos contribuyentes y es el producto de los resultados obtenidos durante más de 20 años de investigaciones en 500 parcelas, vence muchas de las limitaciones presentadas por anteriores ecuaciones. Expresa las pérdidas de suelo en toneladas por acre por año como una función de las características de la lluvia, distribución de la tormenta, suelo, topografía, cubierta, secuencia de cultivos, productividad, labranza, manejo de residuos, y prácticas de control de la erosión (Wischmeier - Smith, 1960).

Ha sido denominada "ecuación universal de pérdida de suelo" por Smith y Wischmeier (1962), Olsan y Wischmeier (1963) y Wischmeier y Smith (1965) y ha sido utilizada por Springer y Colaboradores (1963), Thoreson y Maddy (1963), Dourojeannier y Pauter (1967) y Paulet (1973) para planeamiento agrícola.

El ARS (1961) representa la ecuación universal de pérdida de suelo de la siguiente manera:

$$A = RSLKSCP$$

en donde

- A: es el promedio anual de pérdida de suelo obtenida por la ecuación en ton./acre;
- R: es el factor lluvia;
- K: es el factor erodabilidad del suelo;
- LS: es el factor pendiente y longitud del terreno;
- C: es el factor cultivo y manejo; y
- P: es el factor prácticas de conservación.

#### EL TERMINO PERDIDA PERMISIBLE (A)

El término "tolerancia de pérdida de suelo" es usado, según lo indicado por Wischmeier y Smith (1965) para indicar la máxima tasa de pérdida de suelo que se podría permitir para mantener un alto nivel de productividad económica de cultivos, indefinidamente.

La definición de tolerancia a la erosión debe:

- I. Tender a la preservación permanente o mejoramiento del suelo como recurso;

2. Ser adaptable a las tasas de pérdida y formación del suelo;
3. Ser una función de posición (las tasas de formación de cualquiera de los suelos sobre la tierra no son idénticas);
4. Ser aplicable sin hacer caso de la causa de formación o erosión; y
5. Estar basada sobre el convencimiento de que si una propiedad de un suelo se presenta en exceso para requerimientos presentes o futuros, es tolerable para usarla en exceso.

Basados en estos criterios, se deben indicar tres decisiones a tomar en cuenta para establecer las tolerancias a la erosión. Se debe decidir sobre:

- a. Las propiedades esenciales del suelo necesarias para el futuro;
- b. Las medidas de estas propiedades del suelo necesarias para el futuro; y
- c. La estimación de la tasa de renovación de cada propiedad considerada.

Algunos valores para A encontrados en la literatura:

0.5 – 2.0	Ton./ha/año.
2.0	Ton./ha/año.
1.5 – 12.5	Ton./ha/año.
1.0 – 2.5	Ton./ha/año.

#### EL FACTOR LLUVIA (R)

Este factor y la erodabilidad del suelo representan las condiciones locales en los cálculos. Tal como lo definen Wischmeier y Smith, es el número de unidades de índice de erosión por lluvia, en un año normal de lluvia. El índice de erosión es una medida de la fuerza erosiva de una lluvia específica.

El término índice de erosión hídrica implica una evaluación numérica de un aguacero y describe su capacidad, para erosionar un suelo desprotegido (1959).

El índice de erosión hídrica se representa por EI y es el producto de la energía cinética de la lluvia por la máxima intensidad del aguacero en 30 minutos.

Laus y Parsons (1943) encontraron que la distribución del tamaño de las gotas de lluvia, varía con la intensidad de la lluvia y afirman que un aguacero de

alta intensidad no solamente tiene gotas de mayor diámetro, sino que, además, tiene un amplio rango de diámetro de gotas.

Wischmeier, Smith y Uhland (1961) cuando se refieren a la energía de la lluvia, mencionan la siguiente ecuación desarrollada a partir de los trabajos de Laws y Parsons:

$$KE = 916 + 331 \cdot \log_{10} I$$

Esta ecuación expresa la energía cinética de la lluvia en ton-pie por acre-pulgada, como una función de la intensidad de la lluvia en pulgadas por hora.

Wischmeier (1959) encontró valores  $R^2$  de 0.85 y 0.96 cuando correlacionó EI con las pérdidas estacional y mensual de suelos para 15 y 10 años de registros respectivamente. La suma de los valores EI computados para aguaceros en un período de tiempo dado, es una medida del potencial erosivo de las lluvias dentro del período considerado.

El término EI ofrece una buena medida de la combinación de los efectos:

- a) decrecimiento de la tasa de infiltración durante la lluvia;
- b) incremento exponencial del flujo; y
- c) protección contra el impacto que proporciona la capa de agua fluyente.

Smith indica que cuando el cómputo de energía de la lluvia es multiplicado por la máxima intensidad del aguacero en las lluvias con duración de 30 minutos, se obtienen altas correlaciones con la pérdida de suelo y que la erosión es una función de la tasa a la cual la energía es aplicada al suelo, más que la cantidad de energía.

Algunos valores reportados para el factor lluvia (R es la suma de los EI por período, año o estación):

R	Observación
246 – 1352	Estados del S.E.
108 – 382	Estados del N.E.
111 – 453	Estados del Centro
435 – 807	Mississippi, Louisiana, Kentucky
71.32	Perú
278 – 347	Iowa

## EL FACTOR ERODABILIDAD (K)

El factor erodabilidad en la ecuación universal de pérdida de suelo es un valor cuantitativo experimentalmente determinado. Para un suelo dado es la tasa de erosión por unidad índice de erosión pluviométrica en una parcela unitaria. Una parcela unitaria tiene 22.13 m. de longitud, una pendiente del 9%, está en barbecho y ha sido preparada arando en el sentido de la pendiente. Cuando estas condiciones se cumplen cada uno de los factores L, S, C y P tienen un valor de 1.0 y K es igual a A/EI (Wischmeier-Smith, 1965).

El factor K se ha venido tomando muy en cuenta en la formulación de conceptos sobre el fenómeno erosivo.

Middleton (1930) presentó un estudio sobre las propiedades físicas y químicas de tres suelos resistentes a la erosión y de tres suelos susceptibles a la erosión. De dicho estudio se concluye que la relación de dispersión, la relación coloides a humedad equivalente, la relación de erosión y la relación sílice a sesquióxidos, tienen gran influencia sobre la erosión del suelo.

Wischmeier y Mannering (1969) desarrollaron una ecuación empírica aplicable a un amplio rango de suelo de textura media. Ellos encontraron que las propiedades físicas y químicas que influyen significativamente en las pérdidas por erosión son: porcentajes de arenas, limo, arcillas y materia orgánica PH, estructura y densidad aparente del suelo y subsuelo; inclinación, concavidad y convexidad de la pendiente, agradación, material parental y varias interacciones de estas variables.

Wischmeier, Johnson y Cross (1971) presentan un monograma para determinar el factor K. Dicho monograma está basado en la determinación de cinco parámetros del suelo: porcentaje de limo + arena fina, porcentaje de arena, contenido de materia orgánica, estructura y permeabilidad.

Algunos valores de K según la literatura:

0.439  
0.090 — 0.620  
0.013 — 0.904  
0.543 — 1.046  
0.065 — 0.089  
0.038 — 0.602  
0.490

## EL FACTOR LONGITUD DE LA PENDIENTE (L)

El factor longitud de la pendiente se define como la distancia desde el punto de origen del flujo de agua o cualquier otro punto que se tome como límite sobre el área en consideración. Está determinado por:

- el punto donde la pendiente decrece y empieza la deposición; y
- el punto donde la escorrentía llega a un canal bien protegido que puede ser parte de un dren o de una terraza.

Wischmeier, Smith y Uhland (1961) expresan el valor de L de la siguiente manera:

$$L = \frac{(h)^m}{72.6}$$

Siendo h la longitud de la pendiente en pies y m determinado por datos de campo. El valor promedio de m bajo condiciones de lluvia natural ha sido estimado en 0.5, sin embargo, no es igual para todas las localidades.

## EL FACTOR PENDIENTE (S)

Se ha analizado separadamente el efecto de la pendiente y de la longitud de ésta en el proceso erosivo, sin embargo, en la aplicación de la Ecuación universal, se consideran los dos como un factor simple:

factor topográfico: (LS)

El factor LS es la relación de pérdida de suelo que se espera por unidad de área en una pendiente determinada a la pérdida correspondiente a una pendiente del 9 % y de 22.13 m de longitud.

Valores para diferentes combinaciones de L y S se pueden obtener de un gráfico presentado por Wischmeier y Smith (1960); los valores LS para pendientes que no se muestran en el gráfico, pueden ser calculados de acuerdo a la ecuación de Wischmeier y Smith (1960) transformada al sistema métrico.

Paulet da la siguiente fórmula:

$$LS = (0.0138 + 0.0096 S + 0.00138S^2) \sqrt{L}$$



donde L es la longitud de la pendiente del campo en M y S es la inclinación de la pendiente en tanto por ciento.

Valores para el factor LS en la literatura:

0-6

0-7

### EL FACTOR CULTIVO (C)

El factor cultivo en la Ecuación universal de pérdida de suelo es la relación de pérdida de suelo en un campo cultivado bajo condiciones específicas y la pérdida correspondiente producida con tierra labrada en barbecho continuo y preparado en sentido de la pendiente (1965).

La pérdida de suelo que ocurriría en un determinado campo, si estuviera en barbecho continuo se halla por el producto RKLS.

La pérdida de suelo en un campo cultivado depende de la combinación particular de cobertura, secuencia de cultivo, práctica de manejo, estado de crecimiento y desarrollo del cultivo al momento de la lluvia.

Wischmeier y Smith (1965) seleccionan cinco etapas del cultivo por la relativa uniformidad de sus efectos de cobertura sobre la erosión:

Etapa F — Barbecho — Desde la aradura hasta la siembra;

Etapa 1 — Plántula — Un mes después de la siembra;

Etapa 2 — Establecimiento — Dos meses después de la siembra;

Etapa 3 — Crecimiento y maduración. Final de la etapa 2 hasta la cosecha; y

Etapa 4 — Residuos o rastrojos — Desde la cosecha hasta la aradura o nuevo sembrío.

Algunos valores obtenidos por investigadores para el factor cultivo.

0.009 pasto

0.250 maíz

0.252 maíz

0.197 avena

0.000 descanso

---

0.714 Suma

0.179 Promedio (rotación a 4 años)

## EL FACTOR PRACTICAS DE CONSERVACION (P)

El factor "prácticas de conservación" en la ecuación de erosión es la relación de la pérdida de suelo cuando se utiliza determinada práctica, respecto a la pérdida de suelo cuando el cultivo se hace en sentido de la inclinación de la pendiente (1965).

Smith encontró que las pérdidas fueron 0.5 menos en contorno que sin esta práctica.

Curtis encontró que las pérdidas se redujeron en un 65 % mediante el uso de terrazas, en comparación con las parcelas testigos.

Algunos valores encontrados en la literatura, para el factor P:

% pendiente	P	Práctica
9	0.3	terrazas
1 - 24	0.6 - 0.9	contorno
0 - 8	1.0 - 0.5	contorno
8 - 12	0.5 - 0.65	contorno

## BIBLIOGRAFIA

- DOUROJEANNIER., A. M. - PAULET, I.M. *La Ecuación Universal de pérdida de suelo y su aplicación al planeamiento del uso de las tierras agrícolas: estudio del factor de las lluvias en el Perú*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ingeniería Agrícola. Publicación No. 2. 1967. 78 p. Lima, Perú.
- MIDDLELTON, H. E. *Properties of Soils which Influence Soil Erosion*. U.S. Department of Agriculture, Technical Bulletin No. 178. 1930. 16 p. Washington, EE.UU.
- OLSON, T. y WISCHMEIER, W.H. *Soil Erodability Evaluations for Soils on the Run-off and Erosion Stations*. Soil Science Society of American Proceeding 27(5): 590-592 - 1963. Madison, EE.UU.
- LAWS, J.O. - PARSON, D.A. *The Relation of Raindrop Size to Intensity*. Transactions of American Geophysical Union, 24:452-460. 1943. Transactions, Richmond, EE.UU.
- PAULET I.M. *Guía para el planeamiento del uso de las tierras agrícolas en las*

- zonas de lluvia del Perú.* Universidad Nacional Agraria La Molina, Departamento de Recursos de Agua y Suelo. Publicación No. 3, 1973. 55 p. Lima, Perú.
- SMITH, D.D.- WISCHMEIER, W.H. *Rainfall Erosion, Advances in Agronomy* 14: 109 - 148. 1962. New York, EE.UU.
- SPRINGER, D.K. - BREINIG, C.B. SPRINGER, M.E. *Predicting Soil Losses in Tennessee.* Journal of Soil and water Conservation 18 (4): 1957 - 1958. 1963 Ankeny, Iowa, EE.UU.
- THORESON, A.S. - HADAY. J.K. *Using the Soil-loss Equation in Iowa.* Journal of Soil and Water Conservation, 18 (4): 159-160, 1963. Ankeny, Iowa, EE.UU.
- UNITED STATES. Department of Agriculture. Agricultural Research Service *A Universal Equation for Predicting Rainfall - Erosion Losses; an Aid to Conservation Farming in Humid Regions.* ARS 22-68, Special Report, 1961. 11 p. Washington, EE.UU.
- WISCHMEIER, W.H. - SMITH, D.D. - URLAND, R.E. *Evaluation of Factors in the Soil-loss Equation.* Agricultural Engineering, 39 (8): 458 - 462, 1962. Michigan, EE.UU.
- WISCHMEIER, W.H.: *A RAINFALL Erosion Index for a Universal Soil-loss Equation* Soil Science Society of American Proceedings, 23 (3): 246-249. 1959. Madison, EE.UU.
- WISCHMEIER, W.H. - SMITH, D.D. *A Universal Soil - loss Equation to Guide Conservation Farm Planning.* In; International Congress of Soil Science. 7th, Madison, Wisc. USA. 1960. Vol 1, pp. 418-425.
- WISCHMEIER, W.H. - SMITH, D.D. *Predicting Rainfall - Erosion losses from Cropland East of the Rocky Mountains.* Guide for Selection of Practices for Soil and Water Conservation. U.S. Department of Agriculture. Agricultural Handbook No. 282, 1965, 47 p. Washington, EE.UU.
- WISCHMEIER, W.H. - MANNERING. J.W. *Relation of Soil Properties to its Erodability.* Soil Science Society of American Proceedings, 33 (1): 131-137, 1969, Madison, EE.UU.
- WISCHMEIER, W.H. - JOHNSON, C.R. - CROSS, B.V. *A Soil Erodability Nomograph for Farmland and Construction Sites.* Journal of Soil and Water Conservation 26 (5): 189 - 193. 1971, Ankeny, Iowa, EE.UU.

---

**Abstract.**— The primary objective of this investigation is to present considerations about the soil and the vegetation of the Barva volcanic edifice. To realize this objective, it was essential to characterize the area by means of a series of climatic, botanic and edaphic studies.

In view of the absence of bibliographic material about the study area, this study presents a peculiarity in the inclusion of an isothermic map and a graph of isoyeths designed and constructed exclusively for this type of investigation, as well as exhaustive comparisons in the soil laboratories of the Faculty of Earth and Sea Sciences and the Ministry of Agriculture. The statistic-mathematic diagram of random blocks was applied to the results obtained by means of