

ECUACIONES PARA EVALUAR, ESTIMAR Y PREDECIR LA EROSIÓN HÍDRICA

Equations for evaluating, estimating and predicting water erosion

Óscar Silva Escobar*

*FONAIAP. CIAE, Anzoátegui. Apartado 212. El Tigre, Estado Anzoátegui.

Resumen

La erosión del suelo es uno de los procesos más importantes en la pérdida de la capacidad productiva de las tierras. Por ello se han diseñado procedimientos matemáticos de diversa complejidad y origen, con el fin de estimar el nivel de degradación, en términos de la pérdida de suelo a que está o estará sujeta un área según las condiciones actuales o propuestas de uso y manejo. En este trabajo se hace una revisión de los procedimientos matemáticos de tipo fórmula o ecuación de mayor importancia en la bibliografía, indicando modificaciones o alternativas existentes que intentan superar algunas de las limitaciones originales. Se destaca que las ecuaciones para estimar la erosión pueden agruparse, según el tipo de información que aportan en: a) un índice de clasificación, como el de degradación específica de Fournier; b) un estimado de la erosión, sin permitir evaluar opciones de uso y manejo, como las fórmulas regionalizadas de regresión múltiple y c) un estimado de la erosión con posibilidad de evaluar opciones de uso y manejo de la tierra, como la USLE y sus modificaciones.

Palabras clave: Erosión, producción de sedimentos, modelos de simulación, modelos matemáticos.

Abstract

Soil erosion is one of the most important processes involved in land productivity decay. From several years ago, this fact has led to develop mathematical methods for estimating soil losses under current or hypothetical conditions. These methods are diverse in complexity and origin. This paper presents a review about the most important erosion formulas and equations. Also, modifications or alternatives that pretend to overcome some original restrictions of these methods are described too. In general terms, it can be concluded that it is possible to group the different equations or procedures in function of the information that they provide: a) a classification index, like the Fournier's degradation index, b) erosion estimates, without the possibility of evaluating use and management options, like multiple regression regional formulas, and c) erosion estimates, with possibilities to take into account land use and management options, like USLE and related modifications.

Key words: Erosion, sediment yield, simulation models, mathematics models.

INTRODUCCIÓN

Desde hace tiempo atrás, se ha reconocido a la erosión como el principal proceso conducente al deterioro y pérdida de productividad de las tierras agrícolas. Por ello, se han desarrollado diversos métodos para estimar la erosión que pueda tener lugar en áreas dadas. Sobre ello existe abundante información, pero de manera dispersa, lo que dificulta que interesados en el área de conservación del suelo puedan obtener una visión que al mismo tiempo sea introductoria y también práctica.

En este trabajo se hace una reseña de diversos métodos matemáticos tipo fórmula y ecuación, desarrollados para estimar la magnitud de los procesos erosivos. Por razones de dimensión, no es posible incluir aquí toda la información necesaria para utilizar las fórmulas de erosión presentadas. No obstante, se ha tratado de incluir aquellas ecuaciones que resuelven los términos de la fórmula principal, así como ecuaciones alternativas o modificaciones parciales que se han sugerido para superar limitaciones originales de los procedimientos.

Con esto, se pretende aportar en una sola fuente, información básica sobre el tema, para que el lector se forme una idea precisa de la aplicación y composición de dichos procedimientos y, posteriormente, se le faciliten mayores aproximaciones al tema mediante fuentes de información más detallada.

Degradación específica según el coeficiente de Fournier

Este índice hace referencia a la cantidad de suelo que puede perder potencialmente una cuenca. Se calcula con la expresión siguiente (Fournier, 1960; MARNR-CIDIAT, 1984):

$$F = p^2/P$$

donde:

F: factor de degradación específica.

p: precipitación del mes más lluvioso.

P: precipitación media anual.

Con el factor F se entra en un gráfico que le relaciona con el relieve y el clima de la cuenca y se obtiene el valor de degradación específica (Y en $\text{Mg} \cdot \text{Km}^{-2} \cdot \text{año}^{-1}$). También pueden ser utilizadas las siguientes ecuaciones:

Relieve poco acentuado y $F < 20$:

$$Y = 6,14 F - 49,78.$$

Relieve poco acentuado y $F > 20$:

$$Y = 27,12 F - 475,4.$$

Relieve acentuado, clima no árido ni semiárido:

$$Y = 52,49 F - 513,21.$$

Relieve acentuado, clima árido o semiárido:

$$Y = 91,78 F - 737,62.$$

El valor de degradación específica sólo constituye un índice para comparar, a nivel general, sectores hidrológicos (cuencas, subcuencas, etc.) entre sí. Además, no contempla el efecto del uso y manejo de la tierra sobre la erosión y producción de sedimentos.

Fórmulas regionalizadas de regresión múltiple

Son una serie de fórmulas generadas por correlación múltiple de parámetros físicos e hidrometeorológicos. En este procedimiento, sólo se incluyen aquellos parámetros que colaboran significativamente en disminuir la sumatoria de los errores.

Con el fin de predecir el acarreo anual de sedimentos en suspensión en cuencas hidrográficas, Chacón (1983), desarrolló estas fórmulas para diversas zonas de Venezuela:

Región de Los Andes:

$$Y = 0,46 X_1 - 46,70 X_4 + 67,52 X_5 - 1082,14 X_6 + 994,23 X_7 - 33,04 X_8 - 17722,76 X_9 - 2885,57 X_{12} + 3679,91$$

Región Centro-occidental:

$$Y = 140,44 X_2 + 2911,15 X_4 + 2518,1 X_5 - 7438,1 X_6 + 1532,44 X_8 - 129626,88$$

Llanos Centrales y Occidentales:

$$Y = 0,30 X_1 - 9,74 X_2 + 0,57 X_3 - 38,74 X_4 + 30,79 X_5 - 7,66 X_6 + 5,60 X_8 + 330,80 X_9$$

Subregión Nor-occidental del Lago de Maracaibo:

$$Y = 0,35 X_1 + 0,86 X_3 + 3,65 X_8 - 10,15,66$$

Subregión Sur-occidental del Lago de Maracaibo:

$$Y = 28,84 X_2 + 44,80 X_8 - 6155,38$$

donde:

Y = producción de sedimentos ($10^3 \cdot \text{Mg} \cdot \text{año}^{-1}$).

X_1 : Área (Km^2).

X_2 : Longitud del cauce (Km).

X_3 : Diferencia de cotas (m).

X_4 : Pendiente media del cauce principal ($\text{m} \cdot \text{Km}^{-1}$).

X_5 : Pendiente media de la cuenca ($\text{m} \cdot \text{Km}^{-1}$).

X_6 : $\text{Cm} 1000 X_5/X_1$ (Cm: Coeficiente de masividad)

X_7 : Precipitación media anual (m).

X_8 : Precipitación máxima en 3 horas y 5 años de retorno (mm).

X_9 : Escurrimiento medio anual (m).

X_{12} : Área de la cuenca intervenida (%).

La principal limitación de estas fórmulas, es que no permiten predecir el efecto que los cambios de uso y manejo de la tierra ejercen sobre la producción de sedimentos, ya que no contemplan tales variables. Obsérvese que las variables incluidas no son modificables por el hombre, a excepción del área de la cuenca intervenida, sobre la cual, es imposible iniciar detalles

sobre el tipo de intervención, además de aparecer sólo en una ecuación.

Por otro lado, algunos factores se comportan contradictoriamente, ya que no actúan consistentemente en las diversas ecuaciones, es decir, en unas regiones aumentan la producción de sedimentos y en otras la disminuyen, con lo que se presentan casos en que el efecto de algunos factores sea contrario al que ocurre en realidad. Estas apreciaciones no disminuyen la validez matemática de las ecuaciones, sino que son muestra de que los procedimientos de regresión múltiple, debido a la interacción entre sí de las variables consideradas, pueden arrojar resultados no acordes con los conceptos físicos.

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo y sus modificaciones. Antecedentes.

En las ecuaciones para predecir erosión basadas en procesos, la superficie del suelo es subdividida en áreas de "surco" e "intersurco" y la erosión de cada una es considerada separadamente. En los intersurcos predomina el impacto de la gota de lluvia como proceso, mientras que en el surco predomina la escorrentía. En uno de los primeros trabajos, Meyer y Wischmeier (1969) propusieron un acercamiento a la simulación de la erosión que considera: a) separación del suelo por la lluvia, b) transporte por la lluvia, c) separación por escorrentía y d) transporte por la escorrentía, como fases separadas pero interrelacionadas. Los autores citados, indicaron la necesidad de incluir en un modelo expandido, el drenaje interno en tanto afecte a la erosión; vegetación y residuos de cultivo en tanto afecten el potencial erosivo de la lluvia y escorrentía; labranza y otras alteraciones antrópicas que influyen en la separación y transporte del suelo; topografía y microtopografía; profundidad del agua superficial y la acumulación de suelo que pueda ser removido posteriormente.

Debido a la complejidad de describir físicamente los procesos que ocasionan escurrimiento y erosión, así como a las limitaciones que involucra la gran cantidad de datos que se requieren, se ha recurrido a la generación empírica de ecuaciones. Es decir, a partir de gran cantidad de mediciones hechas en el campo, se obtiene una ecuación de cierta sencillez que relaciona matemáticamente varios factores fácilmente determinables. Tal es el caso de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo, USLE, (Wischmeyer y Smith, 1978). Los procedimientos empíricos presentan una limitante genérica: sólo son aplicables dentro del intervalo de valores que dieron origen a la ecuación.

Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE)

En la actualidad, la USLE es el modelo de mayor difusión para estimar la erosión en parcelas. Contempla la acción de los factores precipitación, suelos, topografía, cobertura y prácticas de conservación. Su expresión básica es:

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

donde:

A: pérdida de suelo, expresada, en el sistema métrico interna-

cional, en $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$.

R: Energía erosiva de la lluvia ($\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$).

K: erosionabilidad del suelo [$(\text{Mg.ha}^{-1}).(\text{Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1})^{-1}$]

L: relación (adimensional) de pérdida de suelo originada por la longitud de la pendiente.

S: relación (adimensional) de pérdida de suelo originada por el gradiente de la pendiente.

C: relación (adimensional) de pérdida de suelo originada por el manejo y uso de la tierra (cobertura del cultivo, generalmente).

P: relación (adimensional) de pérdida de suelo originada por el uso de prácticas de conservación.

El factor R se obtiene mediante el análisis de las bandas pluviográficas locales con las que se establece la energía erosiva de cada tramo de los eventos y luego se multiplica por la intensidad máxima en 30 minutos.

$$E = (0,119 + 0,0873 \log_{10} I) I_{30}$$

donde:

E: Energía cinética ($\text{Mj.ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}$).

I: intensidad (mm.h^{-1}).

I_{30} : intensidad máxima en 30 minutos.

Páez *et al.*, (1989), establecieron ecuaciones de regresión para determinar la erosividad de las lluvias mensualmente en varias localidades del país, en función de la lámina promedio mensual ($L_{(mm)}$):

San Felipe, Edo. Yaracuy: $R = -345,9 + 10,1 L$.

Guanare, Edo. Portuguesa: $R = -258,2 + 9,38 L$.

La Asunción, Edo. Nueva Esparta: $R = -251,7 + 10,0 L$.

Maturín, Edo. Monagas: $R = -249,3 + 8,2 L$.

Aragua de Barcelona, Edo. Anzoátegui: $R = -118 + 8,0 L$.

Valencia, Edo. Carabobo: $R = -70,6 + 7,6 L$.

Valle de la Pascua, Edo. Guárico: $R = -276,9 + 10,4 L$.

Yaritagua, Edo. Yaracuy: $R = -82,7 + 6,5 L$.

La Paragua, Edo. Bolívar: $R = 237,9 + 8,7 L$

“Bosque seco tropical”: $R = -190,5 + 8,8 L$.

El factor K, erosionabilidad del suelo, fue establecido originalmente al determinar las pérdidas de suelo en parcelas de erosión típicas (22,1 m de longitud, 9% de pendiente) y dividir este valor con el de energía erosiva de la lluvia (R) que les dió origen. La ecuación para obtener el factor K en (Mg.ha^{-1}). ($\text{Mj mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$)⁻¹ es:

$$100K = 0,01317 [2,1 M^{1,14} 10^{-4} (12-a) + 3,25 (b-2) + 2,5 (c-3)]$$

donde:

M : (% arena muy fina y limo) (100 - % arcilla).

a: % de materia orgánica.

b: código de tipo de estructura (granular muy fina = 1; granular fino = 2; granular grueso a medio = 3; blocosa, laminar, masiva = 4).

c: código del tipo de permeabilidad (rápida = 1; moderadamente rápida = 2; moderada = 3; lenta a moderada = 4; lenta =

5; muy lenta = 6).

Se han diseñado nomogramas, de uso muy frecuente, que resuelven la ecuación anterior dentro de ciertos límites de valores.

Páez y Pla (1989); proponen una fórmula que obtuvieron de análisis de suelos venezolanos y que califican de alto poder predictivo y de datos fácilmente obtenibles:

$$K = -0,3136 + 0,0093 (L + amf) - 0,0044 (Arc) + 0,0742 (pH) - 0,0086(Gr)$$

donde:

L + amf: % de limo mas arena muy fina.

Arc: % de arcilla.

pH: pH en agua 1:1.

Gr: % de grava entre 2 y 8 mm.

El resultado debe multiplicarse por 0,1 para obtener la erosionabilidad del suelo en (Mg.ha^{-1}). ($\text{Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$)⁻¹.

Los factores L y S se obtienen a partir de ecuaciones que fueron generadas según la relación entre las pérdidas de suelo de las parcelas típicas y parcelas bajo condiciones distintas de longitud y gradiente de la pendiente.

$$S = 0,065 + 0,045s + 0,0065s^2$$

donde s es la pendiente (%).

$$L = (\lambda/22,1)^\mu$$

donde λ es la longitud de la pendiente (m) y μ un factor dependiente del gradiente, el cual puede ser calculado por la ecuación siguiente:

$$\mu = 0,6 [1 - e^{(-35,835 S)}]$$

Se ha señalado que el efecto del gradiente de la pendiente es sobreestimado por la USLE en laderas pronunciadas (Hart, 1984), por lo que es recomendable aplicar la ecuación propuesta por McCool *et al.* (1987) para pendientes mayores a 9%:

$$S = 16,8 \text{ sen}\Theta - 0,5$$

donde Θ es el ángulo de la pendiente.

Los mismos autores proponen una fórmula alternativa para pendientes menores de 9%:

$$S = 10,8 \text{ sen}\Theta + 0,03$$

Los factores C y P se obtienen a través de tablas y gráficos, los cuales han sido elaborados por diversos autores (Wischmeier y Smith, 1978; Dissmeyer y Foster, 1980). Los valores originales fueron obtenidos al relacionar las pérdidas de suelo en parcelas de erosión típicas con suelo desnudo y sin prácticas de conservación con los valores obtenidos con parcelas bajo diversos tratamientos de cobertura y sistemas conservacionis-

tas. En nuestro país se han obtenido valores de los términos CP bajo diversas condiciones (Fernández, 1989, 1995a, 1995b, 1995c; Urbina, 1995; Montesdeoca, 1989; Silva 1994b; Rodríguez *et al.*, 1995; Páez y Rodríguez, 1995), que representan de mejor manera a estos factores que los obtenidos directamente de la literatura de países templados.

La USLE ha sido probada en varias oportunidades en Venezuela y se ha demostrado que tiene buen funcionamiento, por lo que se convierte en una herramienta útil para la planificación del uso de la tierra y en la evaluación del riesgo de erosión (Páez, 1990). Sin embargo, se han señalado algunos aspectos que vician su uso en el país, como la incorrecta expresión de las unidades, la mezcla de unidades de diversos sistemas y la falta de uniformidad en las unidades de expresión (López, 1990). Por otro lado, deben ajustarse los factores de la ecuación a nuestras condiciones, tal como lo recomienda Páez (1989, 1990).

Sobre la base del escurrimiento, la USLE también presenta debilidades (Hairsine *et al.*, 1992), ya que la erosión depende igualmente de los factores que afectan la concentración de sedimentos y al flujo superficial, y a su vez, el segundo afecta notablemente al primero, lo cual no está explícitamente contemplado en la USLE, puesto que el factor hidrológico sólo está contemplado en el término erosividad de las lluvias .

Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Modificada (mUSLE)

Para estimar la producción de sedimentos en la salida de áreas de drenaje, se sustituyó el factor erosividad de las lluvias en la USLE, por un componente que caracteriza la separación y transporte de suelo por la escorrentía, dando origen a la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Modificada (modified USLE-mUSLE; Williams y Berndt, 1977). Esta modificación tuvo el objeto de eliminar el uso de un coeficiente de emisión al usar directamente la USLE. La mUSLE estima, para tormentas individuales, la producción de sedimentos debida a erosión laminar y en surcos

Se expresa de la siguiente manera:

$$Y = 11,8 (Q \cdot Q_p)^{0,56} \cdot K.L.S.C.P \text{ (Williams y Berndt, 1977a).}$$

donde:

Y: producción de sedimentos para una tormenta (Mg).

Q: volumen de escorrentía (m³)

Qp: caudal pico (m³.s⁻¹)

El resto de los factores corresponden a la USLE, con K expresado en Mg. h.N⁻¹.ha⁻¹

La longitud de la pendiente puede ser calculada a partir de cartas topográficas, mediante el método de los puntos extremos del contorno (Williams y Berndt, 1977b):

$$\lambda = Lc/2Ep$$

donde:

A : área de la cuenca (ha).

λ : longitud de la pendiente (m)

Lc: la longitud total de contornos (curvas de nivel) expresada en m.

Ep: el número de puntos extremos (cruces de cauce).

La pendiente promedio puede ser calculada mediante las siguientes fórmulas:

$$\alpha = 0,25 Z (LC25+LC50+LC75)/A$$

donde:

α : pendiente promedio (m.m⁻¹).

A : área de la cuenca (m²).

Z : desnivel total (m).

LC25, LC50 y LC75 : longitudes de las curvas de nivel a 25, 50 y 75% del desnivel respectivamente.

$$\alpha = L E/A$$

donde:

L : longitud total de las curvas de nivel (m).

E : equidistancia (m) .

A : área de la cuenca (m²).

Si las condiciones de la cuenca son similares, puede aplicarse la ecuación sin recurrir a cálculos de tránsito de los sedimentos. Cuando existe variación, debe dividirse en subcuencas y aplicar dicho procedimiento para obtener el arrastre hasta la salida.

Para el cálculo del escurrimiento (Q), generalmente se emplea el método del Número de Curva, (SCS, 1972):

$$Q = (P-0,2S)^2 / P-0,8S$$

donde:

Q : escurrimiento (mm).

P : precipitación (mm).

S : parámetro de retención de agua en el suelo.

El término S (mm) se calcula:

$$S = 254 [(100/CN) - 1]$$

donde CN es el Número de Curva, que se obtiene de la tabla propuesta por el SCS (1977) donde se relaciona el suelo, la cobertura y el manejo de la cuenca.

El caudal pico (Qp) se calcula generalmente mediante la metodología del SCS-CN o por el método racional: Según SCS-CN:

$$Q_p = [2,1 Q A] / [1000 (0,5 D + 0,6 tc)]$$

donde:

Qp : caudal pico (m³.s⁻¹).

Q : lámina de escorrentía (mm), calculada mediante SCS-CN.

D : duración de la lluvia efectiva (h).

t_c : tiempo de concentración (h).

Para aplicar esta ecuación, la duración de la lluvia efectiva (D) no debe exceder al tiempo de concentración (t_c). Para evitar este inconveniente, Rojas (1986) propone utilizar tiempos similares de duración y concentración con lo que se obtiene la siguiente ecuación:

$$Q_p = 1,91 Q A / (1000 t_c)$$

donde:

Q_p : caudal pico ($m^3 \cdot s^{-1}$).

Q : lámina de escurrimiento (mm).

A : superficie de la cuenca (ha).

t_c : tiempo de concentración (horas).

El tiempo de concentración puede ser calculado mediante la fórmula de Kirpich:

$$t_c = 0,0195 \lambda^{1,155} / H^{-0,385} \quad (\text{citada por Rojas, 1986})$$

donde:

t_c : tiempo de concentración en minutos.

λ : longitud del cauce (m).

H : diferencia de nivel de la cuenca (m) .

Según el método racional:

$$Q_p = CIA/360$$

donde:

C: coeficiente de escurrimiento, dependiente de la cobertura vegetal de la cuenca.

I: intensidad de la precipitación ($mm \cdot h^{-1}$).

A: área de la cuenca (ha).

Para calcular la producción de sedimentos para períodos largos debe computarizarse el procedimiento. Para obtener la producción de sedimentos promedio de una cuenca, se requieren al menos diez años de registros diarios de precipitación, lo que representa un volumen de datos difícil de manejar, por lo que en estos casos, se recomienda combinar la mUSLE con un procedimiento que genere precipitación, y poder simular largos períodos de la misma con la respectiva producción de sedimentos.

La mUSLE ha sido poco evaluada en Venezuela. Hermelín (1993) obtuvo precisiones mayores al 75% al evaluar la producción de sedimentos simulada por el modelo SWRRB (basado en la mUSLE) en cuencas de entre 50 y 900 km^2 . Sin embargo, Silva (1995) al validar el mismo modelo en un sector de 125 ha, obtuvo una gran sobrestimación en la producción de sedimentos y atribuye parte del error a las elevadas pendientes del lugar.

Adicionalmente, al evaluar la metodología del Hidrograma Triangular y al componente de escurrimiento del modelo SWRRB, (ambos basados en el Número de Curva) en condiciones de alta pendiente, Silva (1994a, 1995) obtuvo una evidente subestimación por parte de ambos en condiciones de humedad antecedente seca, y gran sobreestimación en condiciones húme-

das. Ello se convierte, a su vez, en un defecto de la mUSLE.

Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo Reformada (rUSLE)

Renard *et al.* (1991) reformaron la USLE al introducir valores de erosividad de la lluvia adaptados a variaciones regionales de los EEUU y a la reducción de la erosividad que causa el agua en suelos inundados.

También modificaron la erosionabilidad del suelo según las variaciones estacionales e incluyen una metodología alterna para estimar este factor cuando el nomograma no sea aplicable. Los autores desarrollaron una ecuación que estima al factor K en función del diámetro de las partículas. Además, toman en cuenta los fragmentos rocosos del suelo.

En el cálculo del factor topográfico (LS), se incluye una nueva fórmula, que refleja las relaciones de erosión en surcos e intersurcos y toma en cuenta la forma de la pendiente.

El factor de manejo y cobertura (C), incluye modificaciones para ser estimado según el uso principal de la tierra, copa del cultivo, cobertura superficial y rugosidad del suelo.

Los autores citados, introducen nuevos valores de prácticas de conservación (P) para tierras ganaderas, rotaciones en franjas, laboreo en contorno y drenaje subsuperficial.

CONCLUSIONES

Las ecuaciones para estimar la erosión pueden agruparse según el tipo de información que aportan: a) un índice de clasificación, como el de degradación específica de Fournier; b) un estimado de la erosión, sin permitir evaluar opciones de uso y manejo, como las fórmulas regionalizadas de regresión múltiple y c) un estimado de la erosión con posibilidad de evaluar opciones de uso y manejo de la tierra, como la USLE y sus modificaciones.

De las metodologías propuestas para estimar erosión y producción de sedimentos, la USLE y la mUSLE respectivamente, son las de mayor empleo, a pesar de las limitaciones que presentan.

Los valores de parte importante de los componentes de las ecuaciones deben ser estimados según la información (cuadros, nomogramas) originada en otras áreas, en condiciones distintas a las de aplicación, lo cual limita la certidumbre de la estimación.

En Venezuela, se ha generado información sobre alternativas en la obtención de los componentes de la USLE, en especial los factores de erosividad de las lluvias, erosionabilidad del suelo y uso de la tierra. No obstante, esta información aún es insuficiente para aplicar la ecuación con facilidad y certidumbre en muchas condiciones.

Se ha generado poca información local acerca de los componentes de escurrimiento, como lo atinente al Número de Curva, lo cual es una limitante en el uso de la mUSLE.

Debe entenderse que debido al origen empírico de los procedimientos, estos no son universales, es decir, la certeza de sus predicciones es mayor a medida en que las condiciones en que se aplique se asemejen a las condiciones donde se obtuvieron. Por ello, los resultados o estimaciones deben interpretarse como aproximaciones de la tendencia que pudiese ocurrir en la realidad.

LITERATURA CITADA

- DISSMEYER, G. y G. FOSTER. 1980. Guide for predicting sheet and rill erosion on forestland. USDA. Forest service. 40 p.
- CHACÓN, F. 1983. Estimación preliminar de acarreos de sedimentos. *El Agua*, Vol. 30:26-37.
- FERNÁNDEZ, N. 1989. Evaluación de Prácticas de Conservación de suelos en cultivos hortícolas. *In: La Erosión Hídrica, Diagnóstico y Control*. Alcance 37. Rev. Fac. Agr. UCV. pp. 87- 96.
- FERNÁNDEZ, N. 1995a. Evaluación de prácticas de conservación de suelos y aguas en cultivos hortícolas (repollo y coliflor) Alcance 47. Rev. Fac. Agr. UCV. pp. 1-14
- FERNÁNDEZ, N. 1995b. Efectos en las pérdidas de suelo y agua de diferentes tasas de residuos superficiales aplicados a un suelo sin cultivos en una cuenca alta. Alcance 47. Rev. Fac. Agr. UCV. pp. 105-116
- FERNÁNDEZ, N. 1995c. Evaluación de la eficiencia de diferentes sistemas de conservación en tres cultivos hortícolas durante dos ciclos y otras coberturas permanentes. Alcance 47. Rev. Fac. Agr. UCV. pp. 115-124.
- FOURRIER, F. 1960. *Climat et érosion*. Presses Universitaires de France. 202 p.
- HAIRSINE, P., C. MORGAN y C. ROSE. 1992. Recent development regarding the influence of soil surface characteristics on overland flow and erosion. *Aust. J. Soil Res.* Vol. 30:249-264.
- HART, G. 1984. Erosion from simulated rainfall on mountain rageland in Utah. *J. Soil and Water Cons.* Sept- Oct. pp.330-334.
- HERMELIN, S. 1993. Determinación de la producción de sedimentos en cuencas altas de la región centrooccidental aplicando el modelo SWRRB; Validación. Reunión internacional sobre procesos de erosión en tierras de altas pendientes; evaluación y modelaje. Mérida. Venezuela. 16-20 de Mayo . Mimeo. 10 p.
- LÓPEZ, R. 1990. Algunas consideraciones en relación al uso de la ecuación universal de pérdidas de suelo en Venezuela. *In: Metodologías de evaluación e investigación de la erosión del suelo y su impacto en la productividad y el ambiente*. CIDIAT. pp. 85-92.
- Mc COOL, A., L. BROWN, G. FOSTER, C. MUTCHLER y L. MEYER. 1987. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. *Trans. ASAE*. Vol. 30 (5): 1387-1396.
- MEYER, L. y W. WISCHMEIER. 1969. Mathematical simulation of the process of soil erosion by water. *Trans. ASAE*. Vol. 12(6): 754-758,762.
- MONTESDEOCA, O. 1989. Evaluación de algunas prácticas culturales conservacionistas en tierras agrícolas de la región andina venezolana. *Fac. C. Forestales*. U.L.A. Mérida. Trabajo de M.S. 129 p.
- PÁEZ, M. 1989. Diseño de prácticas de conservación con la ecuación universal de pérdida de suelo. CIDIAT. 125 p.
- PÁEZ, M. 1990. Consideraciones metodológicas sobre la USLE para mejorar su poder predictivo y la calidad de la información básica generada para su utilización. *In: Metodologías de evaluación e investigación de la erosión del suelo y su impacto en la productividad y el ambiente*. CIDIAT. pp. 103- 116.
- PÁEZ, M. e I. PLA. 1989. Erodabilidad relativa e índices de erodabilidad en suelos agrícolas de Venezuela. Alcance 37. Rev. Fac. Agr. UCV. pp. 59-72.
- PÁEZ, M., O. RODRÍGUEZ y J. LIZASO. 1989. Potencial erosivo de la precipitación en tierras agrícolas de Venezuela. Alcance 37. Rev. Fac. Agr. UCV. pp. 45 -58.
- PÁEZ, M. y O. RODRÍGUEZ. 1995. Eficiencia de diferentes sistemas en el control de la erosión. Alcance 47. Rev. Fac. Agr. U.C.V. pp. 13-28.
- RENARD, K., G. FOSTER, G. WEESIES y J. PORTER. 1991. Rusle: Revised Universal Soil Loss Equation. *Journal of Soil and Water Conservation*. January-February. Vol. 46:30-33.
- RODRÍGUEZ, O., N. FERNÁNDEZ y A. FERNÁNDEZ. 1995. Evaluación de la erosión en una secuencia zanahoria-lechuga con diferentes prácticas de manejo. Alcance 47. Rev. Fac. Agr. pp. 49-62.
- ROJAS, R. 1986. Hidrología de tierras agrícolas. CIDIAT. Mérida. 118 p.
- SCS, 1972. *National Engineering Handbook*. Section 4. Hydrology. USDA, Soil Conservation Service. 548 p.
- SILVA, O. 1994a. Evaluación de la metodología del Hidrogra-

- ma Triangular en condiciones de alta pendiente. II Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas. Mérida.
- SILVA, O. 1994b. Evaluación de la erosión y escurrimiento en condiciones de sabana y bosque claro de altas pendientes. Caso Macapo, estado Cojedes. Venesuelos, Vol. 2 (2):81-86.
- SILVA, O. 1995. Validación del modelo de simulación hidrológica SWRRB en una cuenca pequeña, de altas pendientes y lluvia estacional. Caso Macapo, estado Cojedes. Tesis Msc. en Ciencia del Suelo. UCV. Maracay. 106 p.
- MARNR-CIDIAT. 1984. Diagnóstico Físico Conservacionista en Cuencas Hidrográficas. CIDIAT. Mérida. 63 p.
- URBINA, C. 1995. Evaluación de sistemas de conservación en tierras altas bajo cultivo de trigo. Rev. Fac. Agr. Alcance 47. pp. 75-88.
- WILLIAMS, J. y H. BERNDT. 1977a. Sediment yield prediction based on watershed hydrology. Trans. ASAE. Vol. 20 (6):1100-1104.
- WILLIAMS, J. y H. BERNDT. 1977b. Determining the Universal Soil Loss Equation's length slope factor for watersheds. In: Soil Erosion: Prediction and Control. Soil Conservation Society of America, Special Publication N° 21. pp. 217-225.
- WISCHMEIER, W. y D. SMITH. 1978. Predicting rain-fall erosion losses: A guide to conservation planning. USDA. Agriculture Handbook N° 537. 58 p.
-