



POLITÉCNICA



TEMA 17 : Modelos paramétricos. Modelo U.S.L.E. y modelo R.U.S.L.E.



JOSÉ LUIS GARCÍA RODRÍGUEZ
UNIDAD DOCENTE DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA FORESTAL
E.T.S. DE INGENIEROS DE MONTES
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Modelo U.S.L.E.

La expresión general del modelo U.S.L.E. es la siguiente:

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

donde,

A, son las pérdidas de suelo en t/ha·año.

R, es el índice de erosión pluvial en hJ·cm/m²·hora.

K, es el índice de erosionabilidad del suelo en (t·m·hora/ha·J·cm).

L·S, es el factor topográfico, producto de los factores, longitud de pendiente, L, y pendiente, S.

C, es el factor cultivo (vegetación o de uso del suelo).

P, es el factor de prácticas de conservación de suelos agrícolas.



Indice de erosión pluvial, R ($hJ \cdot cm / m^2 \cdot h$)

Lo estableció W.H. **WISCHMEIER (1959)** y representa la potencia del aguacero para erosionar superficialmente el suelo; por tanto, en cierta medida es un índice de su torrencialidad.

El valor de este factor cuantifica el efecto del impacto de la gota de lluvia y refleja también la cantidad y el valor asociado a una tormenta.

Se define como el producto de la energía cinética de un aguacero por su máxima intensidad en 30 minutos, dividido por cien.



Factor R

Debe calcularse para cada aguacero “j” producido en un año concreto “k” el índice de erosión de lluvia E_{j30j}

La suma de los “m” diferentes valores de E_{j30j} , para los aguaceros del año “k” ofrece el valor de la erosividad de la lluvia para ese año concreto y en esa localidad.

Si se suman los valores de toda una serie de “N” años en esa localidad /se recomienda al menos entre 20 y 25 años) y se divide por el número de años de la serie (N), se obtiene el valor del factor R.



La energía del aguacero, en J/m², viene dada por la expresión:

$$E = (210,2 + 89 \log I)(IT) \text{ (J}\cdot\text{m}^{-2}\text{)}$$

donde,

$(210,2 + 89 \cdot \log I)$, representa la energía cinética del aguacero de intensidad I , por cm. de lluvia y m² de superficie. (hJ/cm·m²).

T , es la duración del aguacero en horas.



En consecuencia, el valor del índice de erosión pluvial, R, se define por la ecuación:

$$R = \sum_{j=1}^n (210,2 + 89 \log I_j)(I_j T_j) I_{30}$$

siendo:

R, es el índice de erosión pluvial en (hJ·cm)/(m²·h).

T_j, es el período de tiempo en horas, para intervalos homogéneos de lluvia durante el aguacero.

I_j, es la intensidad del aguacero en los intervalos citados en cm/h.

I₃₀, es la máxima intensidad de la lluvia en 30 minutos, durante el aguacero en cm/h.

j, son los intervalos homogéneos del aguacero.

n, es el número de intervalos.



FACTOR R

1.- Para toda España, excepto para las zonas definidas en los apartados siguientes 2 y 3:

$$R = e^{-0.834} \cdot PMEX^{1.314} \cdot MR^{-0.388} \cdot F24^{0.563}$$

2.- Para la vertiente mediterránea de Andalucía, área del estrecho y la cuenca del Segura:

$$R = e^{-1.235} \cdot PMEX^{1.297} \cdot MR^{-0.511} \cdot MV^{0.366} \cdot F24^{0.414}$$

3.- Para la zona central de la cuenca del Ebro, área de los Pirineos Centrales y occidentales, la zona costera del Ebro y el área costera del Levante:

$$R = e^{-0.754} \cdot T2^{1.031} \cdot T10^{0.828} \cdot F^{0.482} \cdot PMEX^{1.628} \cdot MR^{1.22} \cdot MV^{0.536} \cdot F24^{0.8} \cdot e^{0.21Z.7} \cdot e^{-0.15Z.9}$$

donde,

e, es la base de los logaritmos neperianos.

PMEX, es el valor medio de las series anuales de lluvias mensuales máximas (mm.)

MR, es la precipitación media del período octubre-mayo (mm.)

MV, es la precipitación media del período. junio-septiembre (mm.)

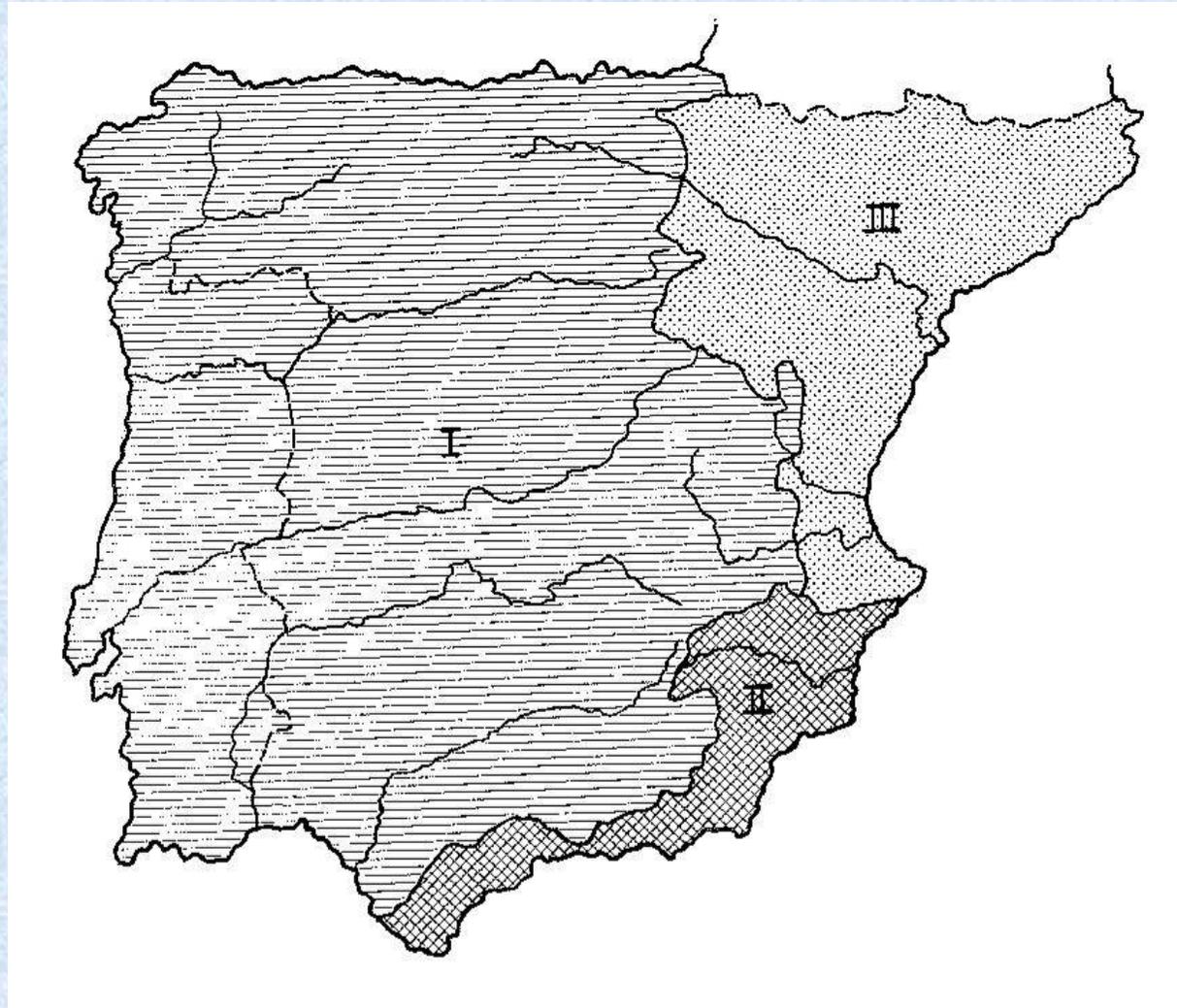
F24, es el cociente entre la precipitación máxima de la lluvia en 24 horas del año, elevado al cuadrado, y la suma de precipitaciones máximas en 24 horas de todos los meses de ese mismo año (mm.)

T2 y T10, son la precipitación anual (mm.) con período de retorno de dos y diez años respectivamente, hallados mediante la distribución Gumbel.

F, es el factor de agresividad del clima en mm. (Fournier)

Z.7, es un factor de zonificación (comprende: Cuenca de Levante costera, Ebro costero, Pirineo oriental costero y Baleares) y Z.9, es un factor de zonificación (comprende la Cuenca del Ebro central) Sus valores serán 1 si estamos en ese área, y 0 si no.





Zonas en que queda dividida la Península Ibérica para el cálculo del factor R_1 y expresiones matemáticas correspondientes a cada una de ellas (ICONA, 1988).

Cálculo del factor R del modelo USLE para dos tormentas simples						
Fecha	Tiempo	Duración	Lluvia	Intensidad	E (m-t/ha)	
		(min)	(cm)	(cm)	(cm)	segmento
31-ago	2300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2400	60.00	2.68	2.68	248.10	664.90
01-sep	130	90.00	6.23	4.15	265.00	1651.00
	200	30.00	3.36	6.72	283.60	952.90
	350	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	400	10.00	0.68	4.08	264.30	179.70
	500	60.00	0.13	0.13	131.10	17.00
	600	60.00	0.84	0.84	203.30	178.80
	1400	480.00	0.13	0.02	58.80	7.60
	1500	60.00	3.28	3.28	255.90	893.40
	1745	165.00	0.32	0.12	128.00	41.00
Total		1015.00	17.65	6.95		4524.30

Fuente: Mintegh Chang. Ed CBR



Factor de erosionabilidad del suelo, K (t·m·h/ha·hJ·cm)

La erosionabilidad (erodibilidad) representa la susceptibilidad del suelo a ser erosionado. El factor K de este modelo representa la pérdida de suelo por unidad de erosividad de la parcela estándar.



Factor de erosionabilidad del suelo, K (t·m·hora/ha·hJ·cm)

- La ecuación de regresión de **Wischmeier (1971)**, obtenida del análisis de los datos proporcionados por simuladores de lluvia es la siguiente:

$$100 \cdot K = 0,000271 \cdot M^{1,14} (12 - a) + 4,20(b - 2) + 3,23(c - 3)$$

donde,

M, es el producto del porcentaje de partículas de suelo comprendidas entre 0,002 y 0,1 mm de diámetro, expresado en %, por el porcentaje de partículas de suelo comprendidas entre 0,002 y 0,2 mm de diámetro, expresado en %, o lo que es igual a la diferencia entre el 100 % y el porcentaje de arcilla de la muestra de suelo.

a, es el % de materia orgánica.

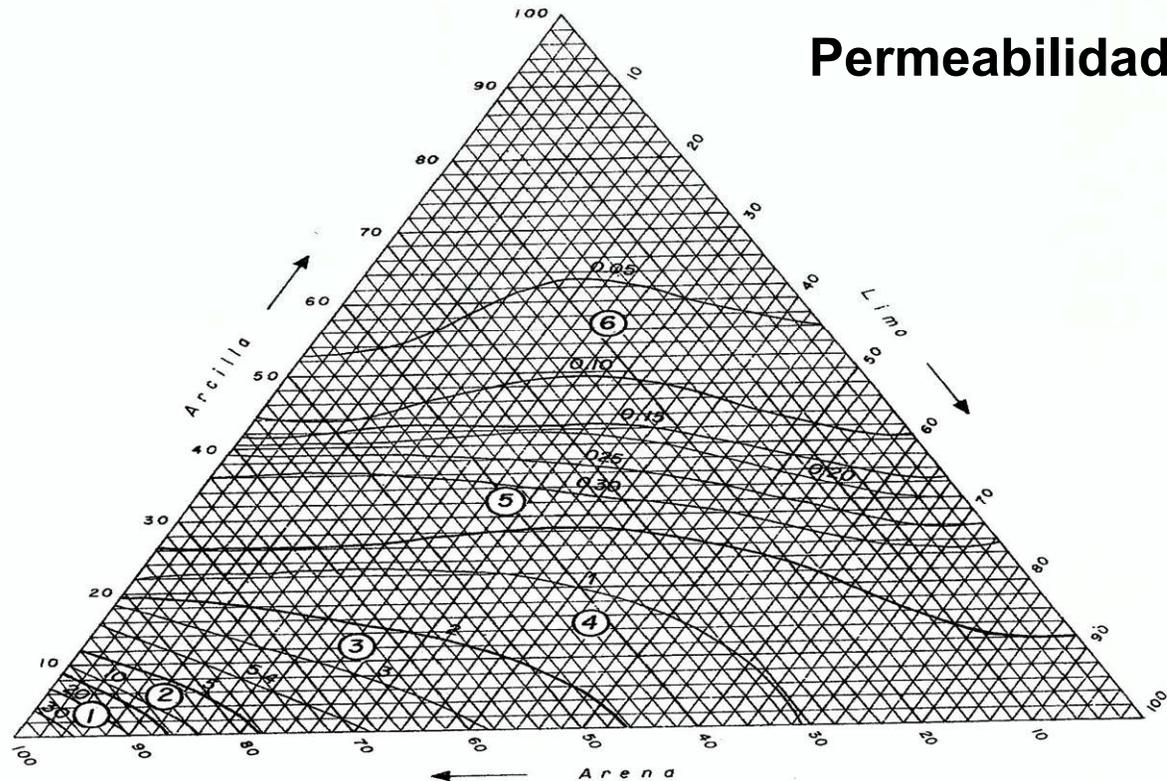
b, es el número correspondiente a la estructura del suelo.

c, clase de permeabilidad del perfil del suelo, según la codificación de la U.S.D.A.- Soil Survey Manual.



- c, clase de permeabilidad del perfil, según la siguiente codificación del USDA-
Soil Survey Manual:
- 1 – rápida a muy rápida
 - 2 – medianamente rápida
 - 3 – moderada
 - 4 – moderadamente lenta
 - 5 – lenta
 - 6 – muy lenta

Para la aplicación de esta codificación se utiliza el gráfico (figura 5.2).



TAMAÑO DE LAS PARTICULAS EN mm.
< 0.002 Arcilla
0.002 - 0.05 Limo
0.05 - 2.0 Arena

Fuente: TRAGSA (1998)



Posteriormente, Wischmeier y Smith (1978), establecieron un **nomograma** para el cálculo de este factor, en que se incluyen los parámetros anteriores.

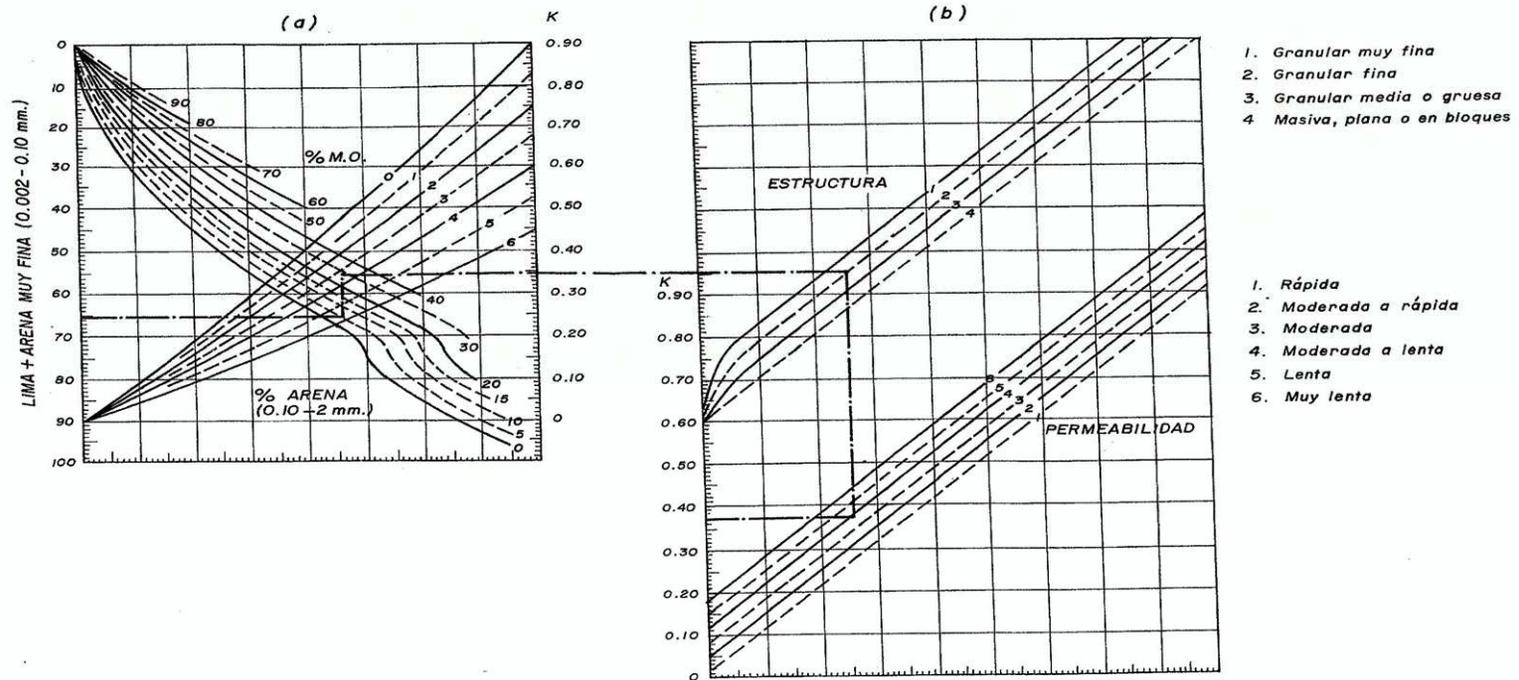


FIGURA 5.3
Gráficos para el cálculo del factor de erosionabilidad del suelo, K de la USLE.
a) Cálculo del factor K en primera aproximación.
b) Cálculo del factor K en segunda.

Fuente: TRAGSA (1998)



Los valores para el % de limo y arena muy fina, % de arena (0,1-2,0 mm), % de materia orgánica y estructura, se toman de los 15 a 20 cm superiores del perfil edáfico.

En la práctica, en una primera aproximación, este factor K se calcula prescindiendo de los términos en que aparecen los factores b y c .

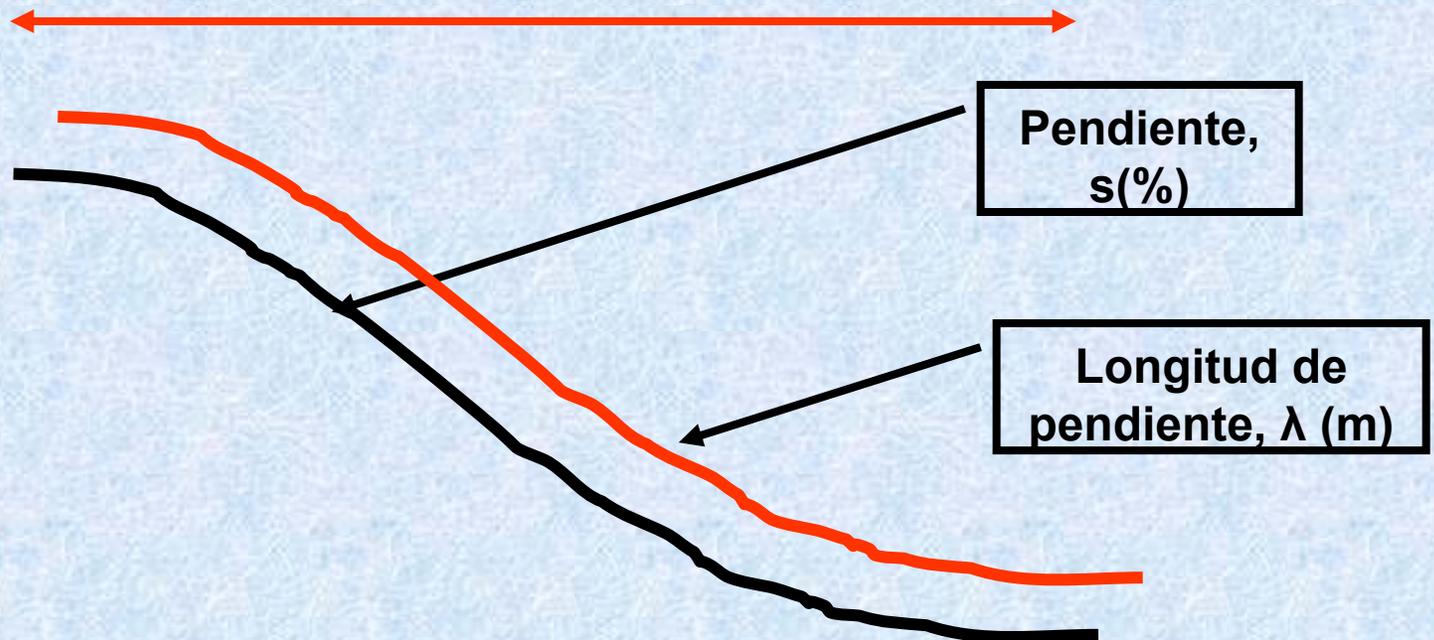


Cuando no se dispone de muestras de suelo, se pueden utilizar valores basados en estudios y experiencias agrupados en unidades de litofacies semejantes.

Tipos de rocas formadoras del substrato superficial o litofacies	Rango del factor K (máx. – mín.)
Rocas correspondientes al estrato cristalino (granito, gneis, ...) y rocas basálticas.	0,05 – 0,15
Rocas silíceas compactas (metamórficas, areniscas duras, cuarcitas, ...)	0,10 – 0,25
Rocas sedimentarias bien consolidadas (calizas duras, dolomías, calcarenitas, ...)	0,20 – 0,40
Rocas sedimentarias blandas (margas, yesos, formaciones flysh, calizas poco consolidadas, areniscas disgregables, ...)	0,40 – 0,60
Rocas cuaternarias (depósitos recientes)	0,40 – 1,00

Factor topográfico, L·S

Este factor combina el factor, L, longitud de pendiente y el factor pendiente, S, resultando un valor que aumenta el valor final de las pérdidas de suelo conforme aumenta la pendiente del terreno.



En 1982 se da la última revisión del factor (McCool et al, 1982), para laderas más o menos uniformes, resultando las expresiones siguientes:

- para pendientes, $s < 9\%$ y longitudes de pendiente, $\lambda < 350$ m

$$L \cdot S = \left[\frac{\lambda}{22,1} \right]^{0,3} \cdot \left[\frac{0,43 + 0,30 \cdot s + 0,043 \cdot s^2}{6,613} \right]$$

- para pendientes, $s > 9\%$ y cualquiera que sea la longitud de pendiente.

$$L \cdot S = \left[\frac{\lambda}{22,1} \right]^{0,3} \cdot \left[\frac{s}{9} \right]^{1,3}$$

En la U.D. de Hidráulica e Hidrología de E.T.S.I. de Montes de Madrid se aplica el método de Mintegui (1983), mediante la correlación con el mapa de pendientes:

s	<i>m = 0,30</i>		<i>m = 0,40</i>		<i>m = 0,50</i>		<i>m = 0,60</i>	
	λ	L·S	λ	L·S	λ	L·S	λ	L·S
100							5	28,5
70					8,5	21,8		
60					11	18,5		
30			58	10,7				
24	64	6,7						
18	78	4,4						
12	100	2,4						
3	233	0,5						



Valores medios de pendientes y del factor L·S

<i>Pendiente, S (%)</i>	<i>Factor L·S</i>
100	28.5
70	21.8
60	18.5
30	10.7
24	6.7
18	4.4
12	2.4
3	0.5



Factor C

El efecto que la vegetación proporciona al suelo y que es recogido en la determinación del factor C (Wischmeier y Smith, 1975), se debe al producto de tres subfactores:

- 1) La protección aérea que la vegetación proporciona al suelo.**
- 2) La protección que proporciona la vegetación en contacto con la superficie del suelo.**
- 3) Los efectos que los residuos de la vegetación tienen en la protección del suelo, tanto porque lo cubren, como porque pueden variarle algunas de sus propiedades físicas.**

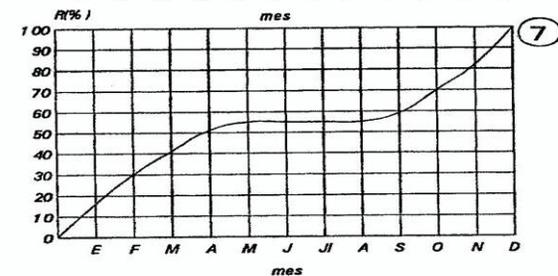
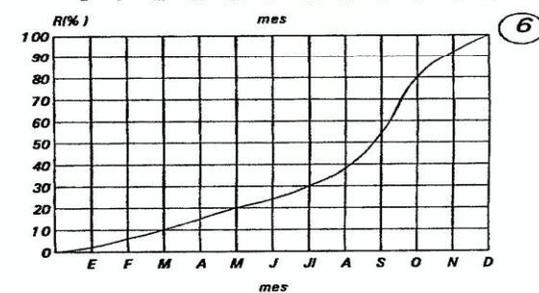
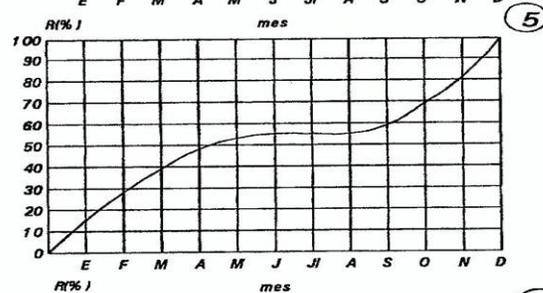
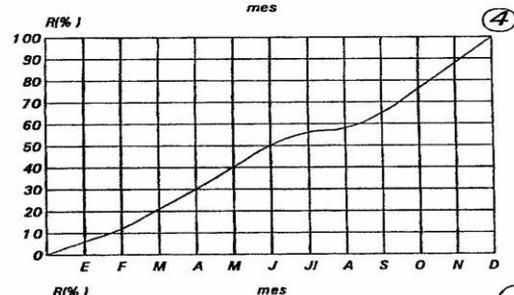
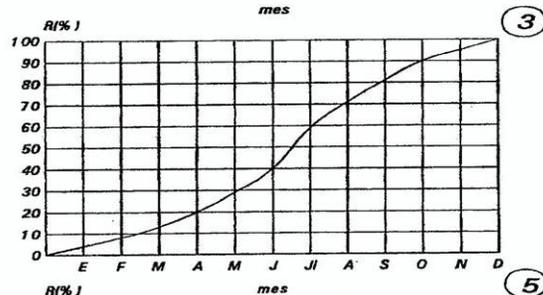
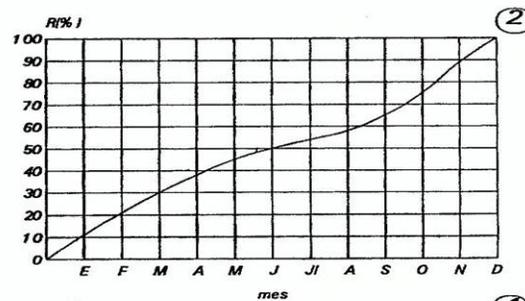
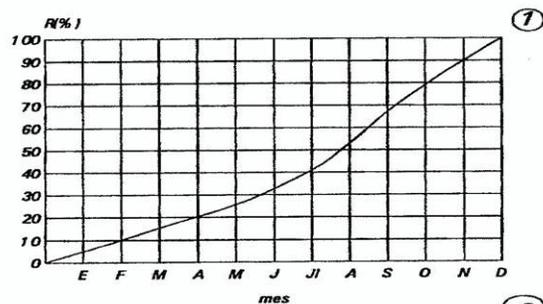


El valor de C no es constante a lo largo del año, especialmente en el caso de cultivos agrícolas, estableciéndose para su cálculo los períodos denominados: barbecho, siembra, establecimiento, crecimiento y maduración y rastrojo.

Estos períodos varían de unos cultivos a otros y de unas zonas geográficas a otras, por lo que se relaciona con el índice de erosividad, R, y su comportamiento anual.

En España, se han establecido perfiles de comportamiento del factor R para diferentes zonas, normalmente asociados a cuencas hidrográficas para poder estimar el porcentaje que corresponde a cada período vegetativo.





1: Cuenca del Norte, vertiente Cantábrica. 2: Cuenca del norte, exposición Oeste. 3: Cuenca del Duero, vertiente Norte y Meseta; Cuenca del Ebro, Noroeste; Duero, Sistemas Ibérico y Central; Cuenca del Tajo, Sistema Ibérico y zonas pirenaicas de las Cuencas del Ebro y del Pirineo Oriental. 4: Cuenca del Tajo excepto Sistema Ibérico, Cuencas del Guadiana, Guadalquivir excepto Sureste y Levante interior. 5: Cuenca del Guadalquivir Sureste, Cuenca del Sur, Cuenca del Segura y Levante Sur. 6: Cuencas de Levante, Ebro y Pirineo Oriental costeros y Baleares. 7: Canarias. (ICONA, 1988)

<i>Uso del suelo</i>	<i>Valor del factor C</i>
<i>Arbolado con Fcc: 20%-70%</i>	0,03
<i>Arbolado con Fcc > 70%</i>	0,01
<i>Arbolado con matorral</i>	0,04
<i>Matorral con arbustos, Fcc < 70 %</i>	0,20
<i>Matorral con arbustos, Fcc > 70 %</i>	0,10
<i>Pastizal con matorral</i>	0,15
<i>Pastizal</i>	0,10
<i>Cultivos arbóreos de secano (almendros, olivos, viñedos, ...)</i>	0,40
<i>Cultivos anuales y herbáceos</i>	0,25
<i>Cultivos en regadío</i>	0,04
<i>Improductivo (poblaciones, embalses, canteras, roquedos, ...)</i>	1,00

Pendiente (%)	CULTIVO A NIVEL		CULTIVO EN FAJAS	CULTIVO EN TERRAZAS
	Factor P	Máxima longitud		
1-2	0,60	120	0,30	0,12
3-5	0,50	90	0,25	0,10
6-8	0,50	60	0,25	0,10
9-12	0,60	35	0,30	0,12
13-16	0,70	25	0,35	0,14
17-20	0,80	20	0,40	0,16
21-25	0,90	15	0,45	0,18



PÉRDIDA ADMISIBLE DE SUELO.

(Pérdida admisible de suelo para E = 120 cm en t/(ha·año))

Los baremos definidos en el trabajo “Clasificación provisional para la evaluación de la degradación de los suelos” (FAO, PNUMA y UNESCO, 1981) aparecen en la siguiente tabla:

Pérdidas de suelo (t/ha·año)	Grado de erosión
<10	Nula o ligera
10-50	Moderada
50-200	Alta
>200	Muy alta

VELOCIDAD DE FORMACIÓN DEL SUELO

$$v = \frac{dz}{dt} = k \cdot z \cdot \frac{E - z}{E} \quad [1]$$

$$\begin{aligned} [L(z) - L(E - z)]_0^{E-\varepsilon} &= [kt]_0^T \\ L(E - \varepsilon) - L(\varepsilon) - L(\varepsilon) + L(E - \varepsilon) &= kT \\ k &= \frac{2L(E - \varepsilon)}{T} \approx \frac{2L(E)}{T} \end{aligned}$$

$$dz \left[\frac{1}{z} + \frac{1}{E - z} \right] = k \cdot dt$$

$$v = \frac{2LE}{T} \cdot z \cdot \frac{E - z}{E} \quad [2]$$

$$v \cdot 1,25 \text{ gr / cm}^2 = v \cdot 1,25 \cdot 10^8 \cdot 10^{-6} = 125 \cdot v = \frac{250 L \cdot E}{T} \cdot z \cdot \frac{E - z}{E} \quad \text{t / (ha \cdot año)} \quad [3]$$



Profundidad actual del suelo (cm)	cm.	T=500 años	T=5.000 años	T=10.000 años	T= 100.000 años	T=1.000.000 años
	10	21.94	2.19	1.10	0.11	0.02
	20	39.90	3.99	1.99	0.20	0.04
	30	53.86	5.39	2.69	0.27	0.05
	40	63.83	6.38	3.19	0.32	0.06
	50	69.82	6.98	3.49	0.35	0.07
	60	71.81	7.18	3.59	0.36	0.07
	70	69.82	6.98	3.49	0.35	0.07
	80	63.83	6.38	3.19	0.32	0.06
	90	53.86	5.39	2.69	0.27	0.05
	100	39.90	3.99	1.99	0.20	0.04
	110	21.94	2.19	1.10	0.11	0.02

MODELO RUSLE

En 1985, se acordó llevar a cabo la revisión de la U.S.L.E., para incorporar nuevas investigaciones y tecnologías, posteriores a la publicación del libro de la USLE en 1978. El trabajo de revisión fue iniciado seriamente despues de 1987, y resultó un nuevo libro técnico y una tecnología denominada RUSLE, la Revisión de la USLE.

La RUSLE mantiene la estructura basica de la USLE, aunque cambian algunos algoritmos, que explican individualmente cada uno de los factores. Quizás, el cambio más significativo haya sido la informatización de esta tecnología, de esta manera cada factor queda determinado recurriendo a las bases de datos integradas en el programa informático en el que se apoya. En una breve descripción de las novedades incorporadas a los distintos factores U.S.L.E. se destacan aquellas de interés por su posible aplicación.



Factor R

Se desarrollan nuevos e importantes avances en la producción de mapas de iso-R, aumentando el número de estaciones de las que se disponía en el Agriculture Handbook 537.

Posteriormente se desarrolla el concepto del Req, obtenido de:

$$R_{eq} = \frac{A}{KLSCP}$$

, donde A,K,L,S,C y P están basadas en medidas de campo.

Se relacionaron los valores Req con valores de precipitación anual para obtener mapas de erosión utilizables en las grandes extensiones cerealistas estadounidenses.

Se tiene en cuenta una reducción de los valores R en zonas de bajas pendientes donde ocurren grandes tormentas. La reducción se basa en el efecto que produce el agua almacenada en el suelo (Huss y Green, 1983).



En la base de datos, CITY, se incorporaron los datos de 119 áreas de distribución del producto E-I en distintas zonas climáticas de U.S.A. Los archivos incluyen además de su identificación, el número de días sin heladas, R anual o Req, distribución de EI30 en períodos de 15 días, EI30 de tormenta anual máxima para períodos de recurrencia de 10 años.

Uno de los problemas del desarrollo de los valores de R en la Base de Datos CITY es la escasez de datos utilizados para calcular las relaciones de tiempo-intensidad y, el valor EI30 por períodos. Otros autores han intentado calcular R correlacionando la precipitación anual y mensual con los factores R conocidos. Renard y Freimund (1993) presentaron las ecuaciones de regresión siguientes:

$$R=0,0048 P^{1,61}$$

$$R=0,074 F^{1,85}$$

donde,

R, es el índice de erosión pluvial. P, es la precipitación anual

F, es el índice de Fournier (1960),



$$F = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P}$$

(P_i , es la precipitación mensual y P es la precipitación anual).

Estas ecuaciones siempre dan altos coeficientes de determinación ($\gamma^2=0,81$) y el error estándar alto, por lo que se recomienda un mejor ajuste.

Para los mismos autores el $(EI_{30})_{10}$ es el siguiente: $(EI_{30})_{10}=2,98 R^{0,70}$



Factor K

El modelo RUSLE incluye ecuaciones para estimar valores de K donde el nomograma no puede aplicarse (por ejemplo, en suelos volcánicos con gran contenido en materia orgánica).

Otro cambio incorporado en la RUSLE da cuenta de los fragmentos de roca en y sobre el perfil del suelo. Se refleja el efecto de la pedregosidad del perfil del suelo en la permeabilidad en tramos de escorrentía. Los fragmentos de roca en el perfil del suelo se asume que reducen la permeabilidad y por lo tanto, aumentan la escorrentía y la erosionabilidad del suelo.



Los datos han mostrado que los valores de K varían estacionalmente, siendo muy altos en la primavera inmediatamente a los deshielos. Los valores más bajos ocurren en la mitad de otoño y en invierno. La variabilidad estacional se trata en la RUSLE mediante estimaciones instantáneas de K calculadas en proporción con las estimas bimensuales de E-I de los archivos de la Base de Datos CITY. Los valores de K estimados se obtienen con ecuaciones relacionando el K con el período libre de heladas y el factor K anual.

La variabilidad temporal del factor K según Young et al, 1990 se puede aplicar a una serie corta de años o para determinados eventos tormentosos, en donde el uso del factor K de Wishmeier (1971) constituirá un error al obviar su variabilidad.



La variación aludida está correlacionada con tres factores: la temperatura del suelo (ciclos de deshielo, congelación), textura del suelo y humedad del suelo.

El factor K según Young et al (1990), se presenta como una propiedad dinámica. A lo largo del año tomará un valor máximo, K_{max} , en el tiempo t_{max} (a partir del 1 de noviembre) y un valor mínimo, K_{min} , en el tiempo t_{min} , cumpliéndose las relaciones siguientes:

$$K_{max}/K_{min}=8,60 - 0,001116* R$$

$$K_{max}/K_{nom}=3,00 - 0,000294* R$$

En donde K_{nom} , es el factor K obtenido por la ecuación de regresión de Wischmeier (1971) del modelo USLE.



A su vez el valor de t_{max} se obtiene a partir del valor R de la USLE.

Si $R \leq 5957$ entonces $t_{max} = 154 - 0,0258 * R$

Si $R > 5957$ entonces $t_{max} = 519 - 0,0258 * R$

De esta forma, conocidos los valores de R y K_{nom} , se pueden calcular los valores de K_{max} , K_{min} y t_{max} . Si el período libre de helada Δt es el tiempo transcurrido entre el K_{max} y el K_{min} , se verifica que $t_{min} = \Delta t + t_{max}$



Una vez conocidos todos estos parámetros se puede evaluar el valor medio anual de K por medio de una media ponderada, considerando los valores parciales de erosionabilidad y erosividad correspondientes a los diferentes períodos “i”:

$$K_{av} = \sum \frac{K_i (E \cdot I)_i}{100}$$

Donde K_{av} es el valor medio anual del factor K, K_i es el valor parcial correspondiente al período “i” y $(EI)_i$ es el porcentaje del índice de erosividad anual R, correspondiente al período “i”.

Para el cálculo de K_i se pueden diferenciar dos casos como se puede apreciar en la figura 3.



Factor L·S

La revisión de este factor se lleva a cabo por Mc Cool et al (1989), considerando la influencia de las mismas variables, longitud y pendiente. En la RUSLE, a diferencia de la USLE, se aumenta la influencia de la longitud de pendiente λ , al considerar que al aumentar la longitud se incrementa notablemente la formación de regueros.

El factor L toma la expresión siguiente:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22,1} \right)^m$$

donde

$$m = \frac{B}{B + 1}$$

Donde, λ , es la componente horizontal de la longitud de la ladera, y B es el cociente entre la erosión en regueros que se produce en cada parcela y que puede evaluarse mediante la expresión siguiente:



$$B = (\lambda \cdot \text{Sen}\theta) / [3,0(\text{sen}\theta)^{0,8} + 0,56]$$

Siendo, θ el ángulo de pendiente.

Para cada ladera, según el ángulo de pendiente se calcula B, y con este valor se calcula m y, por último, L quedando recogidos sus valores en tablas “ad hoc”.

El factor S se estima mediante las expresiones siguientes:

$$S = 10,8 \text{ sen } \theta + 0,03 \quad (\text{si } S < 9 \%)$$

y

$$S = 16,8 \text{ sen } \theta - 0,03 \quad (\text{si } S > 9 \%)$$

Donde se observa una disminución del peso de S respecto a la ecuación inicial de Wischmeier de 1978.



Factor C

Los ratios de pérdidas de suelo (Soil loss ratios, SLR) utilizados en el cálculo de este factor son quizás los términos más importantes en la RUSLE porque representan las condiciones que pueden ser manejadas más fácilmente para reducir la erosión.

Los valores de C son medias de los Soil loss ratios SLR que representan las pérdidas de suelo respecto a las condiciones estándar de parcela. Los SLR varían durante el año como el suelo, condiciones de las plantas, cubierta, y cambios aleatorios de la rugosidad. La RUSLE calcula los valores de C calculando los SLR en períodos de 15 días de acuerdo con la distribución de E·I.



El cálculo del SLR se realiza mediante una función de cuatro subfactores:

$$\text{SLR}=\text{PLU}\cdot\text{CC}\cdot\text{SC}\cdot\text{SR}$$

donde,

PLU, es el subfactor del uso principal del suelo.

CC, es el subfactor de la cubierta aérea.

SC, es el subfactor de la cubierta superficial.

SR, es el subfactor de la rugosidad superficial.



Uso Principal del Suelo (Prior Land Use, PLU)

Este subfactor expresa: (1) la influencia en la erosión del suelo de los efectos de los residuos subsuperficiales de los cultivos previos y (2) el efecto de las prácticas de cultivo previas a la consolidación del suelo. La relación es de la forma:

$$PLU = CF \cdot e^{-cBu}$$

donde,

Cf, es el factor de consolidación de la superficie del suelo

Bu, masas de raíces vivas o muertas y residuos enterrados encontrados en 4 cm de suelo.

C, es un coeficiente que representa la efectividad de las raíces y los residuos enterradas respecto al control de la erosión.



Cubierta Aérea (Canopy cover, CC)

Este subfactor expresa el efecto de la cubierta aérea en la reducción de la energía de lluvia en el impacto de la superficie del suelo.

$$CC=1-FC e^{-0,1 H}$$

donde,

CC, es el subfactor de cubierta aérea.

FC, es la fracción de cabida cubierta.

H, es la altura de caída de las gotas de lluvia después de intercepción (ft).

Los valores de FC y H se encuentran en la base de datos CROP.



Cubierta de Superficie (Surface Cover, SC)

Este efecto se ha observado que varía en distintos estudios de investigación. En algunos se observa que una cubierta del 50 % reduce las pérdidas de suelo alrededor del 65 %, así como en otros una cubierta del 50 % las reduce al 95 %. Para ajustar esta variada eficacia en la RUSLE, se usa la ecuación siguiente:

$$SC = e^{b \cdot S_p \left(\frac{0,24}{R_c} \right)^{0,08}}$$

donde,

B, es un coeficiente.

S_p, es el porcentaje de suelo con superficie cubierta.

R_c, es la actual rugosidad superficial.

Este subfactor es el más sensible de los subfactores y debe tratarse con cuidado para obtener SLR's razonables.



Rugosidad superficial (Surface Rognhness, SR)

La rugosidad superficial del suelo afecta directamente a la erosión del suelo e indirectamente a través de la protección que ofrece el residuo ante el impacto de la gota de lluvia. En cualquier caso, es una función aleatoria de la rugosidad superficial, que está definida por la desviación estándar de las elevaciones superficiales cuando se producen cambios en la pendiente del terreno o marcas no alatorias en los cultivos. El valor de la rugosidad actual se utiliza para calcular en períodos y está definida por la ecuación siguiente:

$$S R = e^{-0,026(R_c - 0,24)}$$

donde,

SR, es el subfactor de la rugosidad superficial y Rc, es la rugosidad actual, siendo.



$$R_c = 0,24 + D_r (R_n - 0,24)$$

donde,

D_r , es un coeficiente de descomposición y R_n , es rugosidad neta después de una labor de campo.

Como se puede apreciar su cálculo requiere de auténticos especialistas, acostumbrados a determinar los parámetros descritos.





conv corn 112 bu ac² SLOPE

Manage Soil Topo

Add break Erase break

0. 50. 100. 150. 200. 250. 300. feet

0 5 10 15 20

Location Iowa\Des Moines

Horiz length, feet 300

Steepness, % 6

Residue burial option Medium

Slope detach., tons/ac/yr 13

Slope deliv., tons/ac/yr 13

Manage Soil Topo Info

Slope Soils

Segment	Soil	Soil horiz length, feet	Soil loss, tons/ac/yr	Sediment delivery, tons/ac/yr
1	silt loam	150	17	17
2	clay	150	9.3	13

User-friendly names without file extensions.

Object type

Gray fields are calculated; white ones are user-entered

Graphic summarizes multiple parameters

Tabs group data by topic

Tables group data that shares the same dimension

Drill down for additional detail

Select a different object from the database, organized by folders



conv corn 112bu ac spring plow MANAGEMENT

Graphic
 Rel. row grade, % 100

Operations Info

Management Operations

Date, m/d/y	Operation	Vegetation	Op. depth, inches	Op. speed, mph	External residue	Residue addition, lbs/ac
4/15/0	moldboard plow (rusle-cal)		10.0	5.0		
5/1/0	tandem disk (rusle-cal)		5.0	5.0		
5/5/0	field cultivator (rusle-cal)		4.0	6.0		
5/10/0	conv planter (rusle-cal)	corn 112bu	2.5	5.0		
6/10/0	row cultivator (rusle-cal)		2.5	5.0		
6/25/0	no operation					
7/10/0	no operation					
10/15/0	harvest killing crop					

Figura 21

corn 112bu Vegetation

Above-ground residue corn stalks
 Root residue corn roots
 Res. mass at harv., lbs/ac 6272
 Canopy loss to surf. by senescence? No

Growth chart Residue Canopy shape desc. Info

Growth chart

Age, day	Root mass in top 4 (10cm), lbs/ac	Canopy cover, %	Fall height, feet
0	0	0	0
15	40	5	0.10
30	160	10	0.50
45	320	50	1.00
60	480	75	1.7
75	760	95	2.4
90	950	95	2.9
105	950	95	2.9
120	950	95	2.9
135	950	95	2.9

Figura 22

Figura 23

Arizona\Flagstaff CLIMATE

Annual ppt., inches	21
R Factor, US	30
10 year EI, US	50
Frost-free period, days	100
Vary soil Erod. with climate?	Yes
Standard EI distribution	US 066
In Req area?	No
Use Req EI dist.?	
R Equiv, US	
dist. for Req conditions	

Monthly Info

Monthly Climate

Month	Avg. temp., deg F	Month precip., inches
Jan	27	2.1
Feb	30	1.9
Mar	36	2.1
Apr	43	1.4
May	51	0.75
Jun	60	0.57
Jul	65	2.5
Aug	64	2.6
Sep	58	1.5
Oct	47	1.5

silt loam SOIL

Graphic		Rock cover, %	0
Erodibility, US	0.32	Consolid. time, years	7
Texture	Silt loam		
Organic matter, %	2.5		
Hydrologic class	C - mod. high runoff		

Particle Sizes

Nomograph Info	Volcanic Info	Info	
Sand, %	20	Coarse sand, %	8
Silt, %	65	Silt/very fine sand, %	77
Clay, %	15		

Figura 24

corn stalks RESIDUE

Res. Type: Normal
 Residue like: non-fragile-med. (corn)

Surf. decomp. half-life, days	43
Surf. decomp. rate	0.016
Sub. decomp. half-life, days	43
Buried decomp. rate	0.016

Coverage vs. mass Info

Area covered, %	30	60	90
Weight required, lbs/ac	950	2400	6050

Figura 25

moldboard plow (rusle-cal) OPERATION

Rec. speed, mph	5.0
Min speed, mph	3.5
Max speed, mph	6.0

Sequence of processes Info

Sequence of processes	Disturb surface	Kill veg.
Tillage type	Inversion (some mixing)	
Tillage intensity, fraction	1.00	
Rec. till. depth, inches	10.0	
Min till depth, inches	6.0	
Max till depth, inches	12	
Ridge height, inches	1.00	
Initial roughness, inches	1.9	
Final roughness, inches	0.24	
Surf. area disturbed, %	100	
Extern. res. added to surf., %		
All surf. residues affected?		

Res. burial ratios (by mass)

Residue type	Flattening ratio	Burial ratio	Resurfacing ratio
fragile-very small (soybeans)	0.98	0.99	0.0100
mod. tough-short (wheat)	0.98	0.98	0.020
non-fragile-med. (corn)	0.95	0.98	0.040
woody-large	0.75	0.85	0.10
gravel-rock	1.00	0.97	0.020

Figura 26



Figura 27

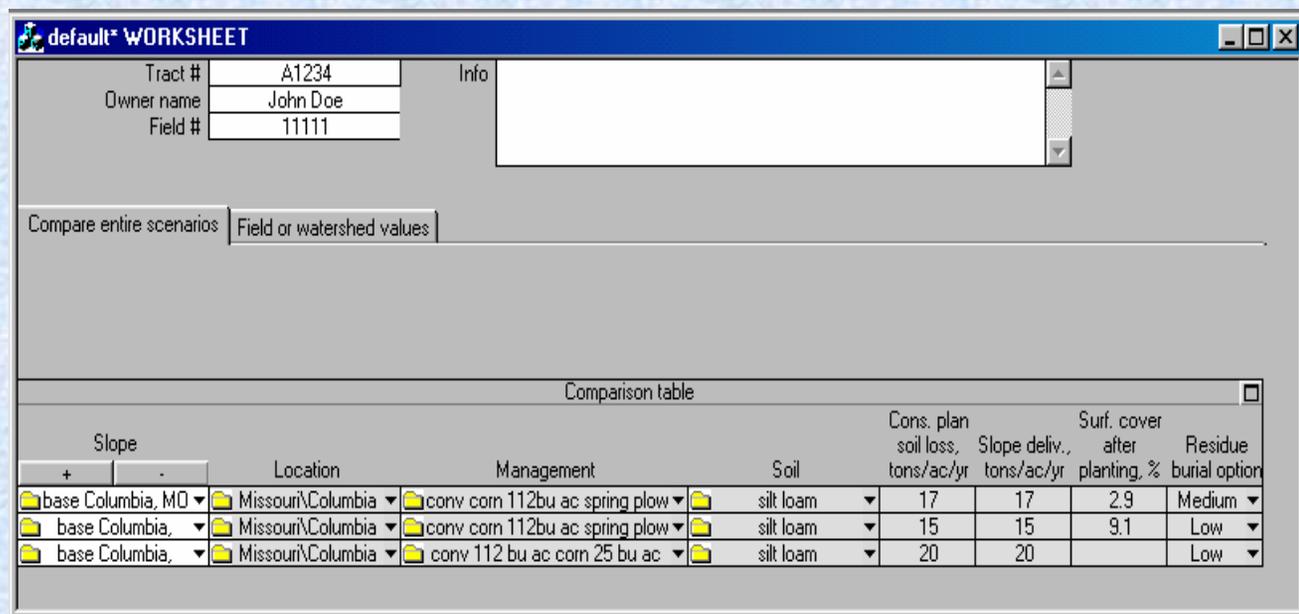
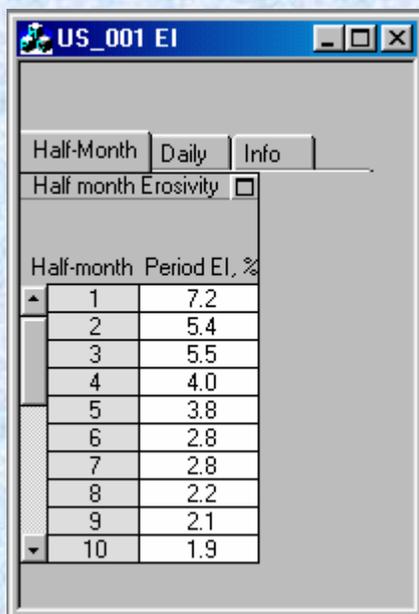


Figura 28

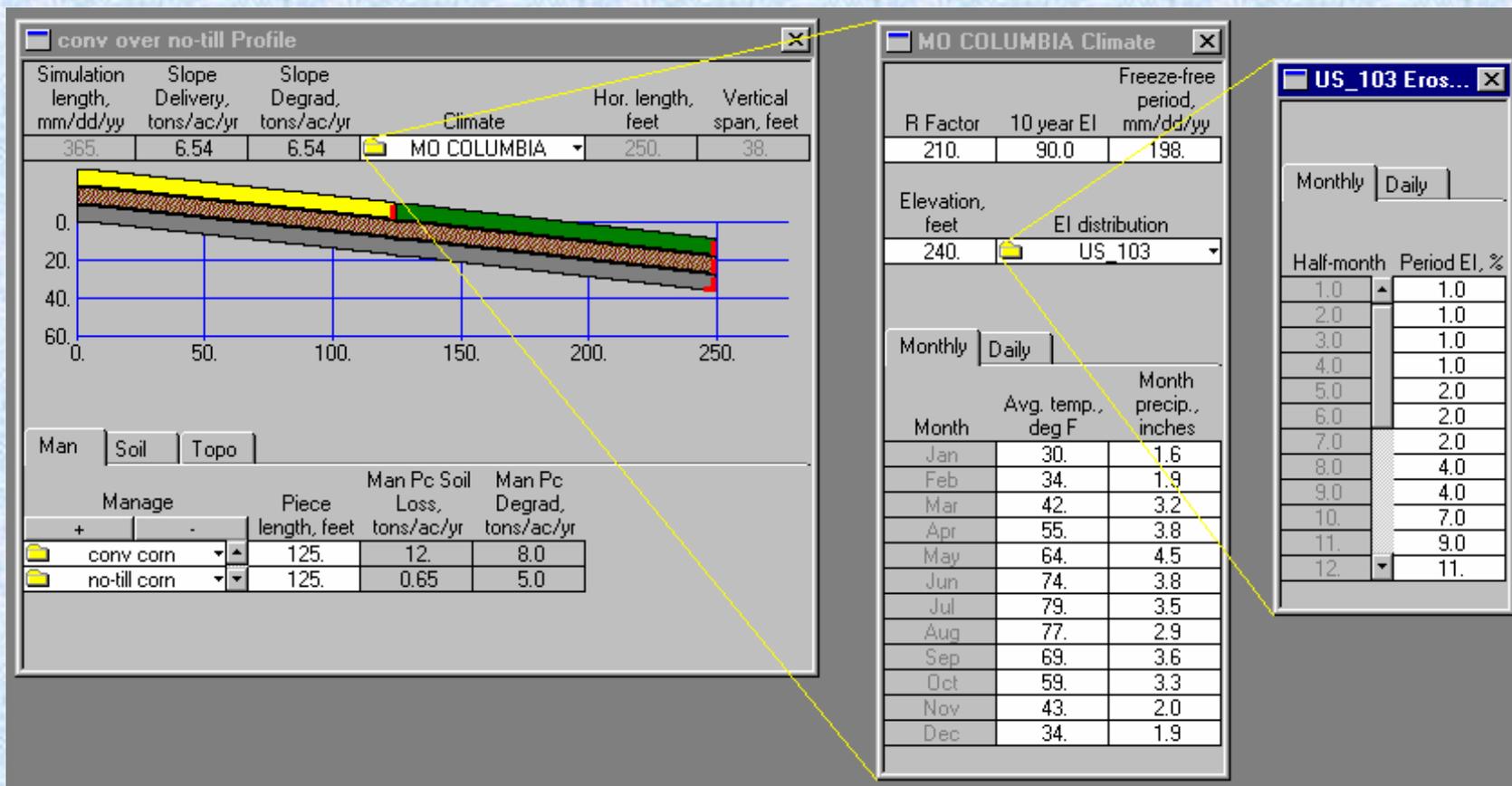


Figura 29

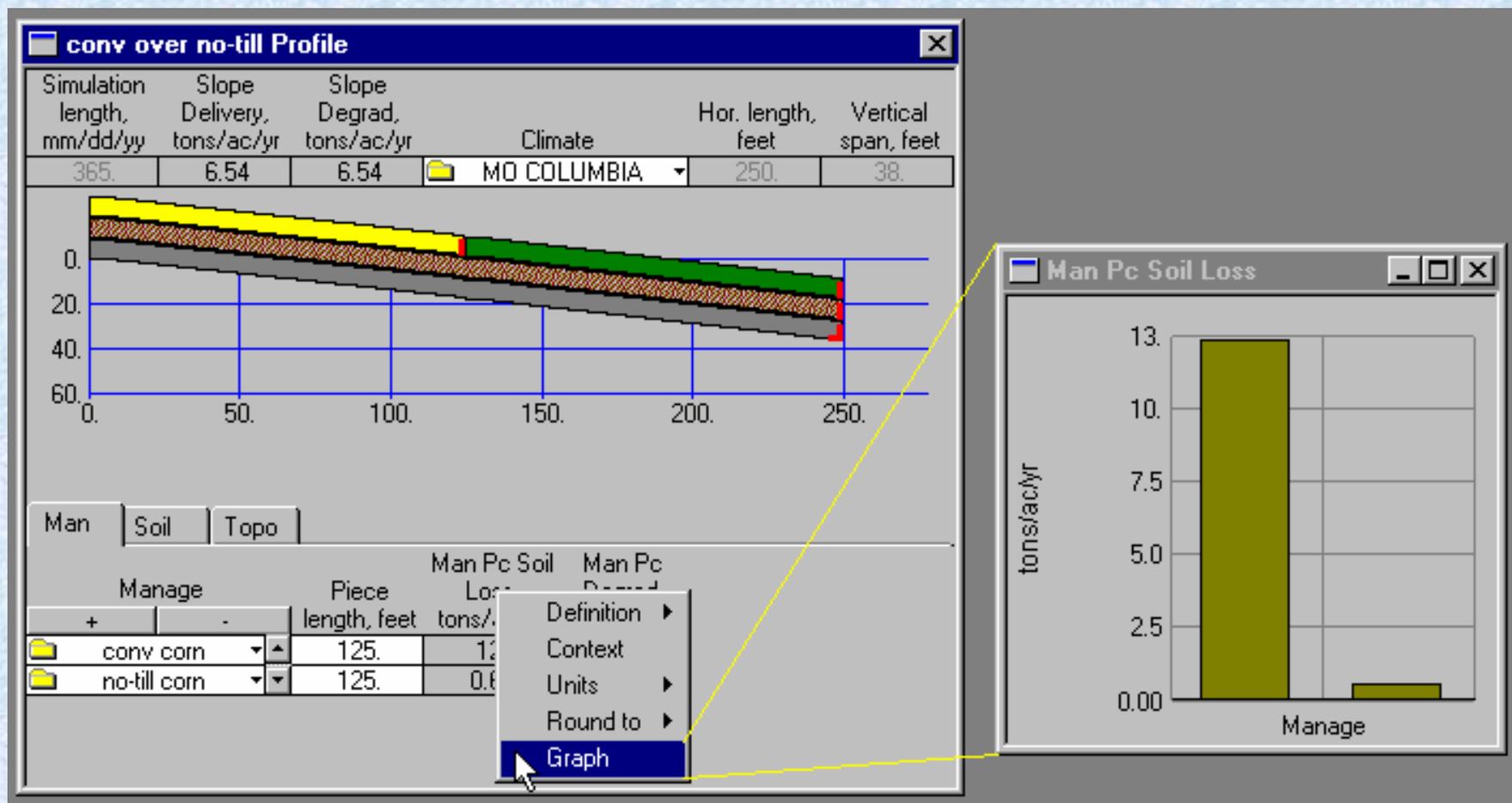


Figura 30