



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

EL FACTOR R DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDAS DE SUELO (USLE)

| | |
|--------------------------|--|
| Apellidos, nombre | Ibáñez Asensio, Sara (sibanez@prv.upv.es) Moreno Ramón, Héctor (hecmora@prv.upv.es) Gisbert Blanquer, Juan Manuel (jgisbert@prv.upv.es) |
| Departamento | Producción Vegetal |
| Centro | Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural |



1 Resumen

En el presente artículo se analiza el significado del factor R o factor de erosividad de la lluvia de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelos (USLE), la herramienta más utilizada para estimar las pérdidas de suelo ocasionadas por la erosión hídrica de tipo laminar o en regueros de pequeña entidad.

La lluvia es uno de los actores principales en los mecanismos de degradación de suelos, no sólo por la repercusión que pueda tener la cantidad de agua precipitada, sino también, y en ocasiones incluso en mayor medida, por la forma en la que se produce dicha aportación (es decir, por la intensidad de la precipitación).

2 Objetivos

Con el presente artículo docente se pretende que el lector sea capaz de:

- Conocer el significado de la erosividad de la lluvia y su papel en el proceso de erosión
- Identificar los factores que determinan la agresividad de la lluvia
- Calcular el factor R
- Evaluar los valores del factor R

3 Estructura e introducción

El presente artículo docente se estructura en los siguientes puntos:

1. Resumen de ideas clave
2. Objetivos
3. Estructura e introducción
4. Desarrollo
 - 4.1. Cálculo del factor R
 - 4.2. Valores del factor R
 - 4.3. Ejemplo de cálculo
5. Cierre
6. Bibliografía

Si seguimos todos estos apartados descritos al final entenderemos en profundidad el significado e importancia del factor R en la modelización del proceso de erosión, identificando las zonas con mayor riesgo de sufrir pérdidas de suelo por efecto de la precipitación pluvial.

En el supuesto de que no conozcas los conceptos básicos de la conservación de suelos, debes buscar información en cualquier libro (por ejemplo los señalados en la bibliografía) o en internet utilizando las palabras claves anteriormente señaladas.



4 Desarrollo

El factor R representa la capacidad de la lluvia para producir erosión. Se calcula en base a la energía cinética de la precipitación, que es en definitiva la energía capaz de desagregar el suelo en las partículas individuales que posteriormente serán transportadas por la salpicadura o por la escorrentía.

Responde a las características físicas de la lluvia: a mayor tamaño de gota mayor masa y mayor velocidad de caída; a mayor masa y velocidad, mayor energía cinética de impacto; a mayor energía cinética de impacto mayor desagregación; y, finalmente, a mayor desagregación más pérdidas de suelo.

Los estudios realizados para la validación de la USLE indican que cuando los factores diferentes a la lluvia permanecen constantes (suelo, cobertura, etc.), la erosión generada por una tormenta es directamente proporcional al producto de la energía cinética de la tormenta por su intensidad (EI). La relación es lineal, y el efecto aditivo.

4.1 Cálculo del factor R

De forma similar a otras variables climáticas (como la cantidad de lluvia), el valor del factor R para una localidad es anual y se determina por suma de los valores Ri de cada una de las precipitaciones ocurridas en la zona durante el año. El cálculo de Ri se realiza a partir de la energía e intensidad de las precipitaciones de la zona.

$$R = \sum Ri, \text{ siendo } i = n^{\circ} \text{ de tormentas ocurridas en un año}$$

$$Ri = Ei_{30} \text{ siendo}$$

R= factor erosividad

E= energía cinética de la tormenta

i_{30} = intensidad máxima registrada durante un intervalo de lluvia de una duración de 30'

$E = f(I)$ (ecuación de carácter empírico), donde

E es la energía cinética de la lluvia

I es la intensidad de la precipitación (mm/h)

Vemos que para determinar el factor R de una zona es imprescindible conocer la intensidad de las tormentas que allí se producen, puesto que la intensidad está directamente relacionada con el tamaño de las gotas. Pero como la intensidad rara vez se mantiene constante durante toda la tormenta, sino que más bien es extremadamente variable, para calcular correctamente el factor R será necesario disponer de las bandas de un pluviógrafo (figura 3) o elaborar los hietogramas a partir de los datos registrados en una estación automática.

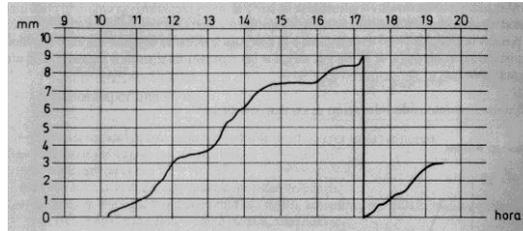


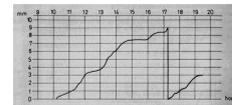
Figura 1.-Banda de registro de la cantidad de lluvia precipitada

Conocido el valor de la intensidad en cada uno de los intervalos de la tormenta en los que la lluvia permanece estable será posible entonces calcular la energía cinética global del episodio de lluvia y, a partir de ella, su valor R_i . Finalmente, sumando la erosividad de cada tormenta obtendremos el factor R de ese año y tras realizar el mismo proceso durante una larga serie de años, podremos finalmente determinar el valor medio de R de la zona.

CÁLCULO DEL FACTOR R (anual)

1.- Primeramente deberemos calcular el valor de la energía cinética (E) de cada tormenta, para lo que realizaremos los siguientes pasos:

1.1: dividir el hietograma de la tormenta en segmentos (i) de intensidad uniforme l_i (mm/h)



1.2: calcular la energía cinética para cada segmento (E_i):

$E_i = 11,89 + 8,73 \log l_i$ (para $l_i \leq 76$ mm/h, válida para una gran diversidad de climas), donde

E_i = energía cinética de cada segmento (J/m^2 y mm)

l_i = intensidad de la precipitación en cada segmento (mm/h)

1.3: calcular la energía cinética de la tormenta (E):

$E = \sum (E_i \times P_i)$, donde

E = energía cinética de la tormenta (J/m^2)

E_i = energía cinética de cada segmento (J/m^2 y mm)

P_i la precipitación total del segmento (mm) según la expresión

$P_i = l_i$ (mm/h) \times T_i (h) siendo T_i la duración de la lluvia con intensidad constante

1.4: determinar, a partir del hietograma, todos los posibles intervalos de 30 minutos de duración, y buscar el de intensidad máxima (l_{30})

2.- Calcular $R_i = E \times l_{30}$

3.- Calcular $R_j = \sum R_i$, expresándola en MJ/ha \times mm/h y año

4.- Calcular $R = \sum_{j=1}^n R_j / n$

En cuanto a la relación entre la energía cinética de una tormenta y la intensidad, es intrínseca a cada tipo de clima (figura 4).

$E^* = 11,89 + 8,73 \log I$ (para $I \leq 76$ mm/h, válida para una gran diversidad de climas), donde E es en J/m^2 y mm; I en mm/h.

$E = 29,8 - 127,5/I$ (para climas tropicales), donde E es en J/m^2 y mm; I en mm/h

$E = 9,81 + 11,25 \log I$ (para Italia), donde E es en J/m^2 y mm; I en mm/h

* En muchas localidades cuando $I > 76$ mm/h, E se aproxima a 29 J/m^2 y mm

En España una gran mayoría de las estaciones meteorológicas históricamente sólo han contado con pluviómetros (y no pluviógrafos) con capacidad para registrar la lluvia para periodos de 24 horas. Como consecuencia, al no contarse con suficientes series de hietogramas, el cálculo del factor R ha estado durante mucho tiempo muy limitado. En una primera tentativa, la expresión utilizada por ICONA en la cuenca del río Segura (1976) fue:

$R = f P I_{1,2} I_{24,2}$, donde:

F= coeficiente zonal correspondiente a las estaciones próximas con registros pluviográficos

P= precipitación media anual

$I_{1,2}$ = precipitación máxima en 1 hora para T=2

$I_{24,2}$ = precipitación máxima en 24 hora para T=2

En los años 80 el mismo ICONA desarrollaría una metodología alternativa basada en la información aportada por la red nacional de pluviómetros, publicando un mapa de isóneas en donde R se expresa en 100 J/m^2 y cm/h (figura 5)

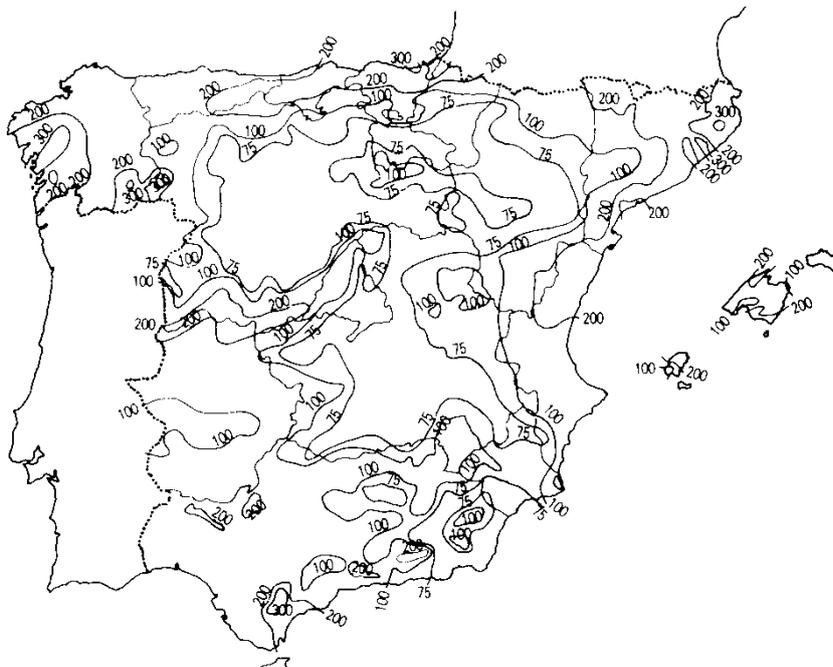


Figura 2: Mapa de valores del factor R



4.2 Valores de R

La mayor dificultad del cálculo es aplicar la función $E=f(I)$ más idóneas con las condiciones climáticas de nuestra zona de estudio. No obstante, habitualmente no es necesario calcular el factor R a partir de los datos de las tormentas individuales puesto que hoy día hay un gran número de estaciones meteorológicas de las que se disponen registros automáticos, pudiéndose encontrar los valores actualizados del factor R en la página del Ministerio encargado de las cuestiones medioambientales (aplicación SIGCH del Sistema de Información Geográfica de Datos Agrarios, SIGA) (Figura 6).

| ESTACIÓN | LONGITUD (°) | LATITUD (°) | FACTOR R |
|---------------------------|--------------|-------------|----------|
| COTES | -0.5667 | 39.0667 | 215.61 |
| AYORA (CHJ) | -1.0500 | 39.0667 | 110.00 |
| BENIFAIRO DE LA VALLDIGNA | -0.2833 | 39.0500 | 278.38 |
| ENGUERA (CHJ) | -0.6833 | 38.9833 | 226.93 |
| CANALS | -0.5500 | 38.9667 | 220.80 |
| PILES | -0.1167 | 38.9500 | 223.72 |
| OLLERIA | -0.5500 | 38.9167 | 225.92 |
| ENGUERA-AREANAS | -0.9000 | 38.9167 | 189.59 |
| LA POBLA DEL DUC | -0.4000 | 38.9000 | 206.67 |
| VILLALONGA | -0.2000 | 38.8833 | 384.40 |
| VERGER-RACONS | 0.0167 | 38.8500 | 298.79 |
| PEGO-CONVENT | -0.1167 | 38.8500 | 389.37 |
| BENIATJAR-LES PLANISSES | -0.4167 | 38.8500 | 283.61 |
| DENIA | 0.0019 | 38.8333 | 264.96 |
| P. BENIARRES | -0.3500 | 38.8167 | 266.26 |
| ALBAIDA-EL CLAU | -0.5000 | 38.8167 | 266.44 |
| ONTINYENT-COLEGIO | -0.6000 | 38.8167 | 202.13 |
| PEDREGUER | 0.0333 | 38.8000 | 276.70 |
| CAP DE SANT ANTONI | 0.2000 | 38.8000 | 256.08 |
| LA FONT DE LA FIGUERA | -0.8833 | 38.8000 | 131.75 |
| VALL GALLINERA-FONTILLES | -0.0833 | 38.7833 | 319.86 |
| AGRES-SANT VICENT | -0.5167 | 38.7833 | 235.94 |
| ALMUDAINA | -0.3500 | 38.7667 | 271.43 |
| BOCAIRENT | -0.5833 | 38.7667 | 241.90 |
| VILLENA-LA ENCINA | -0.9500 | 38.7667 | 146.81 |
| COCENTAINA-CONVENT | -0.4333 | 38.7500 | 231.14 |
| JALON | 0.0000 | 38.7333 | 351.14 |
| BENISSA-CONVENT | 0.0500 | 38.7167 | 203.45 |
| GORGA | -0.3500 | 38.7167 | 237.74 |
| BANYERES | -0.6500 | 38.7167 | 122.55 |
| TARBENA-CHJ | -0.1000 | 38.7000 | 332.42 |
| ALCOI | -0.4667 | 38.7000 | 143.02 |
| BENEIXAMA-AGROMET | -0.7667 | 38.7000 | 165.19 |
| CAUDETE | -0.9833 | 38.7000 | 127.96 |
| BOLLULLA | -0.1000 | 38.6833 | 284.96 |
| ALCOLECHA | -0.3333 | 38.6833 | 269.36 |
| VILLENA-LA VEREDA | -0.9167 | 38.6833 | 121.92 |
| CALLOSA DEN SARRIA | -0.1167 | 38.6500 | 175.62 |
| P. IBI | -0.5667 | 38.6333 | 141.89 |
| BIAR-CASA PORCELL | -0.7667 | 38.6333 | 137.39 |
| VILLENA | -0.8667 | 38.6333 | 84.22 |
| ALTEA | -0.0500 | 38.6000 | 150.66 |



| | | | |
|------------------------|---------------------|--------------------|-----------------|
| SELLA | -0.2667 | 38.6000 | 164.39 |
| YECLA-CHJ | -1.1000 | 38.6000 | 82.14 |
| RELLEU-CHJ | -0.3000 | 38.5833 | 129.19 |
| JIJONA | -0.5000 | 38.5333 | 103.26 |
| TIBI-CASA TALECA | -0.5667 | 38.5333 | 110.56 |
| PETRETER | -0.7667 | 38.4833 | 88.54 |
| ELDA | -0.7833 | 38.4833 | 60.05 |
| MONOVAR-LESVARADOR | -0.8833 | 38.4667 | 64.00 |
| CHINORLET | -0.9667 | 38.4000 | 88.99 |
| NOVELDA | -0.7667 | 38.3833 | 81.54 |
| ALICANTE-CIUDAD JARDIN | -0.5000 | 38.3667 | 131.91 |
| LA ROMANA-AGROMET | -0.8833 | 38.3667 | 68.79 |
| ALICANTE-LALTET | -0.5500 | 38.2833 | 109.23 |
| ELCHE-CHS | -0.7000 | 38.2667 | 61.45 |
| GUARDAMAR DEL SEGURA | -0.6667 | 38.1000 | 106.55 |
| ESTACIÓN | LONGITUD (°) | LATITUD (°) | FACTOR R |
| ORIHUELA-CHS | -0.9333 | 38.0833 | 74.83 |
| MURCIA-GUADALAU | -1.1667 | 38.0000 | 78.58 |
| LAGUNA DE TORREVIEJA | -0.7000 | 37.9833 | 80.39 |
| SAN MIGUEL DE SALINAS | -0.7833 | 37.9833 | 109.96 |
| SAN JAVIER-AEROPUERTO | -0.8500 | 37.8000 | 104.64 |

Figura 3.- Valores del factor R para la Comunidad Valenciana

4.3 Ejemplo de cálculo R

| Ejemplo de cálculo de la erosividad a partir de registros pluviométricos: | | | |
|--|-------------------------|--|------------------------------|
| (1) | (2) | (3) | (4) |
| Intensidad (mm/hora) | Cantidad de lluvia (mm) | Energía lluvia (J/m ² por mm de lluvia) | Total (col 2 x col 3) |
| 0 – 25 | 30 | - | - |
| 25 – 50 | 20 | 26 | 520 |
| 50 – 75 | 10 | 28 | 280 |
| > 75 | 5 | 29 | 145 |
| | Total = 65 mm | | Total = 945 J/m ² |

(1) y (2) la intensidad de la precipitación (I) y la cantidad de lluvia se obtienen de la banda del pluviógrafo de la tormenta

(3) Energía cinética = $11,89 + 8,733 \log I$ (energía en J/m² y mm estando I en mm/h, para clima de los EEUU)

I_{30} se obtiene de los registros del pluviógrafo. Empleando por ejemplo un valor de 15 de mm/h, entonces:

--> $E_{I_{30}} = E \times I_{30} = 945 \text{ J/m}^2 \times 15 \text{ mm/h} = 141,75 \text{ MJ/ha y mm/h}$



5 Cierre

El factor R o erosividad de la lluvia representa la capacidad de la precipitación pluvial de producir degradación del suelo. Es uno de los parámetros integrantes de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelos desarrollada por el Servicio de Conservación de los Estados Unidos con el objetivo de cuantificar las pérdidas por erosión hídrica, evaluar el riesgo de degradación y estimar el efecto conseguido con la implantación de medidas de conservación.

6 Bibliografía

6.1 Libros:

- [1] Almorox et al. 1994.- Métodos de estima de la erosión hídrica. Editorial agrícola española, 152 pp.
- [2] Gisbert, J.M. e Ibáñez, S. 2003. Procesos erosivos en la provincia de Alicante. Generalitat Valenciana, Consellería de Medio Ambiente, 400 pp + 120 mapas
- [3] Hudson, N. 1982. Conservación del suelo. Reverté, 335 pp
- [4] ICONA. Agresividad de la lluvia en España. Valores del factor R de la USLE. M.A.P.A., 39 pp.
- [5] López Cadenas, F. (Coord.), 1994. Restauración hidrológico forestal y control de la erosión. TRAGSA - Mundi-Prensa, 902 pp
- [6] López Cadenas, F. (Coord.), 2003. La ingeniería en los procesos de desertificación. TRAGSA, 1045 pp
- [7] Porta, J.; López-Acevedo, M. & Roquero, C. 2003. "Edafología para la agricultura y medio ambiente". Madrid: Ediciones Mundi Prensa. 807 pp

6.2 Referencias de fuentes electrónicas:

- [8] Morgan, R.P.C. Erosión y conservación de suelos, en <http://books.google.es/books>
- [9] Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. Agriculture Handbook No. 537. USDA/Science and Education Administration, US. Govt. Printing Office, Washington, DC. 58pp. Disponible en: <http://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>