

## Los índices de intensidad de precipitación $I_{30}$ e $I_{10}$ y su relación con las pérdidas de suelo en el Noroeste peninsular (Galicia, España)

R. Vila García, F. Díaz-Fierros Viqueira, R. Rodríguez Martínez-Conde  
*Universidad de Santiago de Compostela*

**RESUMEN.** Del análisis de 565 eventos de precipitación durante cuatro años hidrológicos (1995–1999), un total de 214 eventos de precipitación registraron pérdidas de suelo en ambientes oceánicos propios del Noroeste peninsular. El objetivo es establecer un umbral de índices de intensidad de precipitación  $I_{30}$  e  $I_{10}$ , a partir de los cuales se expliquen un porcentaje amplio de las pérdidas de suelo registradas. Admitiendo la heterogeneidad de los resultados, se puede establecer un umbral donde el índice  $I_{30} < 5 \text{ Mm h}^{-1}$  registra entre el 33 y el 55% de las pérdidas de suelo anuales, y otro umbral para el  $I_{10} < 15 \text{ Mm h}^{-1}$  comprendido entre el 31,2 y el 58,3%.

*Palabras clave:* evento de precipitación, Índice  $I_{30} > 20 \text{ mm. h}^{-1}$ , Índice  $I_{10} > 45 \text{ mm. h}^{-1}$ , pérdidas de suelo, erosión.

**ABSTRACT.** Of the analysis of 565 events of precipitation during four years (1995-1999), a total of 214 events of precipitation registered losses of used to in oceanic proper ambiances of the northwest of Spain. The aim is to establish a threshold of indices of intensity of precipitation  $I_{30}$  and  $I_{10}$ , to part the which explain an ample percentage of the losses of used to registered. Admitting the diversity of the results, can establish a threshold where the index  $I_{30} < 5 \text{ MM h}^{-1}$  registers between the 33 and the 55% of the losses of used to annual and, other threshold for  $I_{10} < 15 \text{ MM h}^{-1}$  understood between the 31,2 and the 58,3%.

*Keywords:* rain event, Index  $I_{30} > 20 \text{ mm. h}^{-1}$ , Index  $I_{10} > 45 \text{ mm. h}^{-1}$ , soil erosion, erosion.

Recibido: 13 de maio de 2005.

Aceprado: 1 de sepiembre de 2005.

## 1. Introducción

El determinar la importancia de la intensidad de una precipitación se comenzó a estudiar en Zanesville (Ohio), entre 1934 y 1942 (Morgan, 1986, 1996). Posteriormente, a partir de las investigaciones realizadas en Bedfordshire (Gran Bretaña) por Morgan (1977) y en Alemania por Richter & Negendank (1977), se demostró que una tormenta, evento o precipitación podía registrar tasas de erosión diferentes en uno u otro sentido, siendo a partir de aquí cuando se aceptó vincular la erosión hídrica a dos formas de precipitación:

a) Eventos de precipitación cortos, pero muy intensos, donde la capacidad de infiltración del suelo no fuese capaz de infiltrar la lluvia y, por lo tanto, comenzase la escorrentía superficial y el arrastre de sedimentos, sin saturar los poros del suelo.

b) Precipitaciones con una temporalidad prolongada y con intensidades poco relevantes que deben saturar el suelo antes de que comience la escorrentía y por lo tanto la erosión.

En función de lo expresado y teniendo en cuenta la situación de Galicia en general (medio templado-húmedo) y de Santiago de Compostela en particular (medio oceánico hiperhúmedo), la forma de precipitación dominante, y por lo tanto la que origina las escorrentías y las pérdidas de suelo, se puede asociar con las escorrentías generadas mediante el conocido como ciclo dunniano o de *fuelle variable*, y evoca unas intensidades de precipitación poco relevantes. Es más, Vila García (2005) mostró cómo de 565 eventos de precipitación analizados solamente en un evento se cumplía el ciclo hortoniano (0,17% de los eventos analizados). Además de los factores comentados, es fundamental la situación de humedad antecedente del suelo. Esta posibilidad ya fue apuntada por Basanta Cornide (1997), aunque la falta de datos no permitía aseverarlo de forma concluyente. Con estos antecedentes, se puede teóricamente identificar la erosión laminar con intensidades de precipitación bajas y prolongadas en el tiempo, y la erosión en regueros con intensidades de precipitación altas y reducidas en el tiempo. Por todo ello se pone de manifiesto que no se puede aplicar de manera generalizada y aleatoria un índice de intensidad de precipitación que explique la mayor parte de las pérdidas de suelo.

### 1.1 Los índices de intensidad $I_{30}$ e $I_{10}$ : estado actual

El papel que desempeña la intensidad de una precipitación en un periodo concreto de tiempo es difícil de determinar, sobre todo en una escala espacial amplia y diversa. De ahí que se vengán adoptando dos índices de intensidad predominantes: uno es el  $I_{30}$ , y el otro el  $I_{10}$ .

En los dominios templados, donde se registran precipitaciones importantes y escorrentías de ciclo dunniano, con índices de intensidad de precipitación bajos pero

con importantes pérdidas de suelo (Wischmeier & Smith, 1958; Richter & Negen-dank, 1977; Bollinne, 1977; Morgan, 1980), se tiende a aplicar el índice  $I_{10}$ . Posteriormente, Morgan (1996) consideró sobrevalorada la cantidad de pérdida de suelo producida por bajas intensidades de precipitación, en especial en toda la franja de la Europa occidental o atlántica, y por ello se creó el índice  $I_{30}$ .

La utilidad del índice  $I_{30}$  es reconocida en todos los dominios climáticos principales (húmedos, áridos). Hasta tal punto que en dominios áridos el 80% de las pérdidas de suelo se producen con  $I_{30} > 20 \text{ mm h}^{-1}$  (Hudson, 1981; Rapp *et al.* 1972; Morgan, 1974; Martínez-Mena *et al.* 2001). Este índice deriva del valor  $KE > 25 \text{ Mm h}^{-1}$  al cual tradicionalmente se le atribuía la mayoría de las pérdidas de suelo en climas tropicales (Hudson, 1965).

Más allá de los diferentes dominios climáticos, el índice  $I_{30}$  habitualmente registra mejores relaciones cuando se emplea con pérdidas en suelos sin cobertura vegetal, mientras que en cultivos con cobertura vegetal muy variable, se obtienen mejores relaciones cuando las intensidades se calculan en fracciones de 5 a 10 minutos (Stocking & Elwell, 1973).

Los trabajos previos en Galicia occidental (Vila García, 2005; Vila García *et al.* 2005) ya demuestran la falta de relación del índice  $I_{30} > 20 \text{ mm. h}^{-1}$  con las pérdidas de suelo y, al mismo tiempo, expresan la dificultad de asociar a un índice la explicación de buena parte de las pérdidas de suelo. No obstante, se apunta un umbral donde el índice  $I_{30} < 5 \text{ mm. h}^{-1}$  explica entre el 33 y el 55% de las pérdidas de suelo anuales.

## 1.2 Propuesta para la creación de tramos de intensidad dentro del $I_{10}$

Ante la falta de una clasificación en tramos que pueda orientar a partir de qué valor de intensidad  $I_{10}$  se puede calificar a un evento de precipitación de erosivo en ambientes templado-húmedo, proponemos una clasificación por tramos, con el único orden de la proporcionalidad temporal respecto de los valores ya publicados y comentados para el índice  $I_{30}$  (Cuadro 1); por lo tanto estos valores no dejan de ser una aproximación, sujeta a posibles modificaciones.

Cuadro nº 1. Parámetros sugeridos para la creación de grupos de tramos de intensidad de las lluvias en ambientes templados húmedos de Galicia.

Grupo	$I_{30}$ en mm h <sup>-1</sup>	$I_{10}$ mm h <sup>-1</sup>	Clasificación de la intensidad
I	$I_{30} > 20$	$I_{10} > 45$	muy alta
II	$10 > I_{30} < 20$	$30 > I_{10} < 45$	Alta
III	$> 5 I_{30} < 10$	$15 > I_{10} < 30$	Moderada
IV	$I_{30} < 5$	$I_{10} < 15$	Baja

<sup>1</sup>  $KE > 25$  (energía cinética de las lluvias con intensidad  $> 25 \text{ mm/h}$ ).

## 2. Objetivos

De lo expuesto se deduce la importancia de encuadrar y confrontar ambos índices de intensidad de precipitaciones, con el claro objetivo de desarrollar los trabajos ya iniciados (Vila García, 2005; Vila García *et al.* 2005), y cuantificar la importancia del  $I_0$  en ambientes templado-húmedos, en este caso aplicado a la zona de Santiago de Compostela. Para ello, además de tener en cuenta la vegetación, se amplía el número de eventos disponibles mediante la reelaboración de otras investigaciones realizadas en la misma zona (Basanta Cornide, 1997).

## 3. Material y métodos

Durante cuatro años hidrológicos se tomaron datos de precipitación y de pérdidas de suelo, entre otros parámetros<sup>2</sup>, en la Estación Experimental “Monte Pedroso” (EEMP) (Fig.1) en Santiago de Compostela (Galicia) (Rodríguez Martínez-Conde, 1996, 1997). Los años hidrológicos (AH) investigados fueron 1989-90; 1990-91; 1991-92; 1995-96; 1996-97; 1997-98 y 1998-99, cuyas características principales se describen en el Cuadro 2.

Para el cálculo de las intensidades de precipitación se utilizó una estación automática *Unidata 128 K 7000B* (Versión 30, 31) (Fig. 2) y un pluviógrafo *Unidata Tipping Bucket Rainfall Gauge Model 6506A1* (Fig. 3). La utilización de este pluviógrafo permite el cálculo de eventos de precipitación, entendiéndose por tal aquel periodo de precipitación separado de otra precipitación por un intervalo de tiempo mínimo de 6 ho-

Cuadro nº 2. Características generales de la Estación Experimental “Monte Pedroso”.

Localización	a 6 km al N.NW. de Santiago de Compostela
Coordenadas	42° 54´ N., 4° 53´ W.
Cuenca hidrográfica	Río Sar, tributario en la red del Ulla
Comarca geográfica	A Mahía
Clima tipo	Templado-húmedo; b4 r b1´ a´
Morfoestructura	Depresión meridiana (Galicia occidental)
Geomorfología	Depósito ladera (tipo coluvión)
Litología	Sustrato granítico de dos micas
Edafología	Leptosol úmbrico (FAO, 1988)
Profundidad de suelo	oscila entre 40 y 65 cm.
Vegetación	tojales: <i>Ulex europaeus</i> y <i>Ulex minor</i>

<sup>2</sup> Se pudieron adquirir datos sobre los siguientes parámetros: humedad del suelo, temperaturas del suelo y del aire, humedad relativa, volúmenes e intensidades de precipitación, velocidad del viento, radiación solar, evaporación, escorrentías superficiales y arrastres.



Figura 1. Ladera del Monte Pedroso sobre la cual se instaló la EEMP.

ras, en el cual la lluvia caída no supera el valor de 1,2 mm (Wischmeier & Smith, 1958).

Las pérdidas de suelo (PS) fueron recogidas en un depósito colector de arrastre de sedimentos groseros y otro depósito colector de sedimentos finos, provenientes de tres parcelas de erosión con diferentes características según la parcela (Fig. 4).

En la EEMP se montaron tres parcelas para medir la erosión. La parcela 1 (P1) con una extensión de 25 m<sup>2</sup>, pendiente del 10% y longitud de caballones de 5 m. La parcela 2 (P2) posee la misma extensión y longitud de caballones que la P1 aunque su pendiente es del 5%. Finalmente la parcela 3 (P3) tiene una extensión de 50 m<sup>2</sup> y sus caballones poseen 10 m de largo y una pendiente del 5% (Fig. 5)<sup>3</sup>.



Figura 2. Estación automática con data logger.

<sup>3</sup> La motivación que puede justificar las dimensiones de las parcelas radica en que pretendíamos analizar las posibles relaciones entre tamaño y pendiente; es decir conocer las variaciones en la producción de sedimentos y en la escorrentía según el tamaño y pendiente de la parcela, y las posibles correlaciones entre ambas variables.

## 4. Resultados

### 4.1 Las intensidades de precipitación y evento: índices $I_{30}$ e $I_{10}$ .

El resumen de los datos más relevantes que se ofrecen en las siguientes Tablas (Tablas 1, 2, 3 y 4) se corresponde a un trabajo anterior ya citado (Vila García, 2005, anexo V). Aquí expondremos de modo muy escueto sólo lo más relevante de los resultados obtenidos a lo largo de varios años hidrológicos, en los que se registraron un total de 565 eventos.

a) *Año hidrológico 1995-1996* (Tabla 1).

Durante este periodo la intensidad máxima de  $I_{30}$  se dio en el evento nº 1 con un valor de  $17,8 \text{ mm h}^{-1}$  y, en este evento también se registró la máxima  $I_{10}$  con un valor de  $56,4 \text{ mm h}^{-1}$

b) *Año hidrológico 1996-1997* (Tabla 2).

La  $I_{30}$  máxima tuvo lugar durante el evento nº 1, en el mes de agosto, con un valor de  $18,6 \text{ mm h}^{-1}$  y en el mismo evento se dio la  $I_{10}$  máxima con  $56,4 \text{ mm h}^{-1}$

c) *Año hidrológico 1997-1998* (Tabla 3).

La  $I_{30}$  máxima fue durante el evento nº 1, con un valor de  $22,5 \text{ mm h}^{-1}$ , y nuevamente en el mismo evento también se registró la  $I_{10}$  máxima con  $84 \text{ mm h}^{-1}$

d) *Año hidrológico 1998-1999* (Tabla 4).

El  $I_{30}$  tuvo lugar durante el evento nº 1, en el mes de septiembre, cuyo valor fue de  $11 \text{ mm h}^{-1}$ ; la  $I_{10}$  máxima fue también en el mismo evento con  $34,8 \text{ mm h}^{-1}$

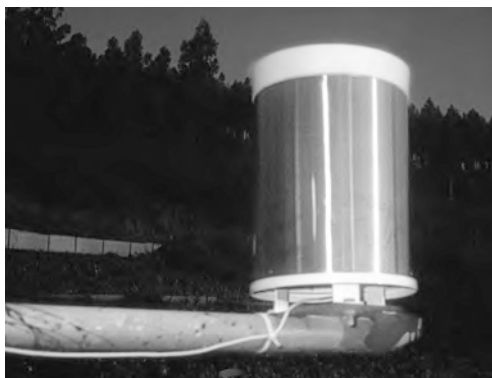
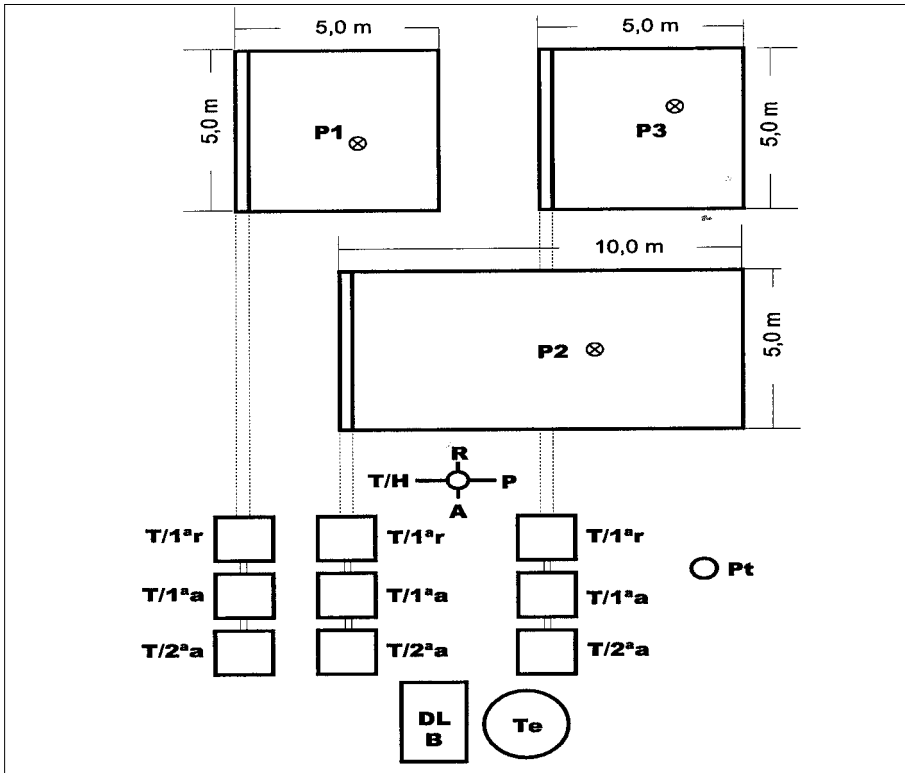


Figura 3. Pluviógrafo.



Figura 4. Sistema de captación de las pérdidas de suelo.



nota: T/1ª r: tanque de primera recogida; T/1ª a: tanque de primera alicuota; T/2ª a: tanque de segunda alicuota. La numeración de las parcelas 2 (P2) y 3 (P3) es errónea; deben intercambiarse, es decir a la P2 le corresponde ser la P3, y a la P3 la P2.

Figura 5. Esquema y distribución de la EEMP.

## 4.2 Frecuencias anuales de los índices $I_{30}$ e $I_{10}$

A continuación se exponen, someramente, la frecuencia máxima anual de los índices  $I_{30}$  e  $I_{10}$  en los 565 eventos de precipitación del periodo 1995–1999 (datos de base en Vila García, 2005), a partir de los datos expuestos en las tablas anteriores.

### 4.2.1 Frecuencias anuales

#### a) Año hidrológico 1995-1996.

1) Respecto del  $I_{30}$ , la frecuencia predominante en los eventos de precipitación fue el de  $0,2 \text{ mm h}^{-1}$ , que se dio en 34 casos (26,9% de los 126 que componen este periodo). Le sigue el de  $0,4 \text{ mm h}^{-1}$  con 11 casos (8,7%) y el de  $0,8 \text{ mm h}^{-1}$  con 9 casos (7,14%). Por último con 6 casos está el  $I_{30}$  de 1 y  $1,8 \text{ mm h}^{-1}$

2) En cuanto al índice  $I_{10}$  la mayor frecuencia fue la de  $1,2 \text{ mm h}^{-1}$  en un total de 47 casos (37,3% de los 126 analizados). Le siguen el de  $3,6 \text{ mm h}^{-1}$  (15 casos, 11,8%) y el de  $4,8 \text{ mm h}^{-1}$  (11 casos, 8,7%). Por último el cuarto índice mas repetido fue la frecuencia  $8,4 \text{ mm h}^{-1}$ , se dio en 10 casos y representa el 7,9% del total.

*b) Año hidrológico 1996-1997.*

1) Vuelve a destacar para  $I_{30}$  la frecuencia de  $0,2 \text{ mm h}^{-1}$  en 35 casos (24,3% sobre un total de 144). Después aparecen los valores de  $0,4 \text{ mm h}^{-1}$  (11 casos y el 7,6% del total) y de  $6 \text{ mm h}^{-1}$  con 10 casos (6,9%). Por último con 7 y 8 casos tenemos las frecuencias en el  $I_{30}$  de 2 y  $0,6 \text{ mm}$  respectivamente.

2) En el  $I_{10}$  la frecuencia más repetida fue el valor  $1,2 \text{ mm h}^{-1}$  con 52 casos (el 36,1% de los 144 analizados). Le siguen el de  $2,4 \text{ mm h}^{-1}$  con 16 casos (11,1%) y el de  $4,8 \text{ mm h}^{-1}$  con 10 casos (6,9%). Otra frecuencia destacable fue el valor  $28,8 \text{ mm h}^{-1}$  en 3 casos.

*c) Año hidrológico 1997-1998.*

1) La frecuencia  $I_{30}$  de  $0,2 \text{ mm h}^{-1}$  tuvo 29 casos (20,8% sobre los 139 casos de este AH). Le siguen la de  $0,4 \text{ mm h}^{-1}$  (13 casos, 9,3%) y la de  $1 \text{ mm h}^{-1}$  (11 casos, 7,9% del total)

2) Para  $I_{10}$  la frecuencia más repetida fue la de  $1,2 \text{ mm h}^{-1}$  (40 casos que son el 28,7% de los 139 analizados). Le siguen las frecuencias  $2,4 \text{ mm h}^{-1}$  (14 casos, 10%) y las de  $4,8$  y  $8,4 \text{ mm h}^{-1}$  con 12 casos cada una (ambos suponen el 17,2% del total).

*d) Año hidrológico 1998-1999.*

1) De las 153 frecuencias para  $I_{30}$  al valor  $0,2 \text{ mm h}^{-1}$  le correspondieron 46, es decir el 30,6%. Detrás destacan el valor de  $0,4 \text{ mm h}^{-1}$  (16 casos, 10,4%) y el de  $0,8 \text{ mm h}^{-1}$  (con 12 casos y el 7,8% sobre el total).

2) Para el índice  $I_{10}$  la frecuencia con más casos es la de  $1,2 \text{ mm h}^{-1}$  (57 casos que sumaron el 37,2%); le sigue la frecuencia de  $2,4 \text{ mm h}^{-1}$  con 15 casos y un 9,8%. La tercera fue la de  $3,6 \text{ mm h}^{-1}$  con 13 casos ( 8,5% del total).

#### **4.2.2 Resumen de frecuencias anuales a lo largo del período (Tabla 5)**

a) En el índice  $I_{30}$  la frecuencia más significativa es la que corresponde con la intensidad  $0,2 \text{ mm h}^{-1}$ , es decir la más baja (Fig. 6). Se registraron 144 eventos con esta intensidad que supusieron el 25,76% del total. Hay un considerable salto en relación a la clase o tipo que le sucede en orden de importancia; en efecto, la intensidad de  $0,4 \text{ mm h}^{-1}$  sólo se alcanzó en 51 casos (9,12%). Entre ambas intensidades se llegó al 35% del total. Si sumamos todas las intensidades inferiores a  $1,0 \text{ mm h}^{-1}$  se alcanza el 45,43% del total habido, es decir un valor muy cercano a la mitad de los eventos registrados en los cuatro años.

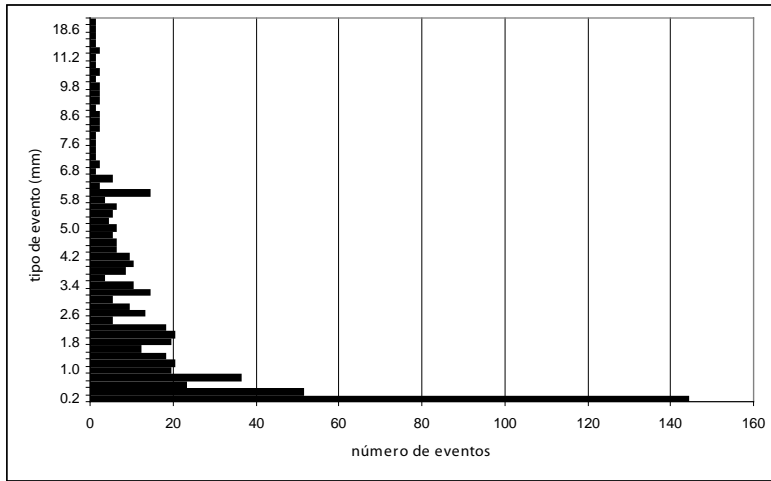


Fig. 6. Tipo de eventos y su frecuencia para el índice  $I_{30}$  a lo largo del período de estudio.

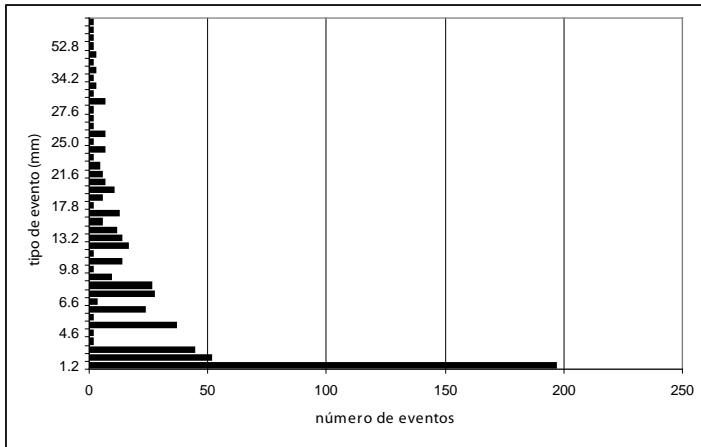
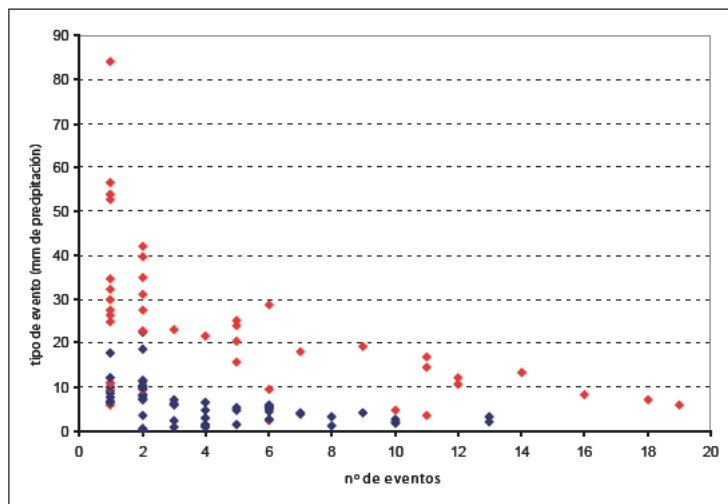


Fig. 7. Tipo de eventos y su frecuencia para el índice  $I_{10}$  a lo largo del período de estudio.

b) En el índice  $I_{10}$  la frecuencia más representada se corresponde con la intensidad de  $1,2 \text{ mm h}^{-1}$ , que alcanza el 35,19% del total de eventos y que se corresponde con la intensidad más baja de las registradas (Fig. 7). Si le añadimos la siguiente en importancia ( $2,4 \text{ mm h}^{-1}$ ) se llega hasta el 44,35% de los eventos.

c) Por tanto, la intensidad y las precipitaciones a lo largo del período, según los índices de intensidad  $I_{30}$  e  $I_{10}$ , nos indica que lo predominante son las frecuencias de

baja intensidad, observándose una cierta variación entre ambas intensidades: las intensidades correspondientes a  $I_{10}$  suelen ser más numerosas y de mayor precipitación que las correspondientes a intensidades  $I_{30}$  (Fig. 8).



**Fig. 8.** Número de eventos registrados e intensidades, según los índices  $I_{30}$  e  $I_{10}$  (los puntos en negro corresponden al  $I_{30}$ , y en gris al  $I_{10}$ )

#### 4.2.3. Relación entre las frecuencias de intensidad y los volúmenes de precipitación

Sin embargo, las frecuencias que aportan mayor cantidad de precipitación no se corresponden con aquellas que se asocian con los mayores números de eventos; en éstos dominaban las frecuencias de baja intensidad, ahora en cambio los hechos se presentan de distinta forma, tal y como se recoge en la siguiente tabla (Tabla nº 6).

### 4.3 Las pérdidas de suelo y su relación con los índices $I_{30}$ e $I_{10}$

#### 4.3.1. Consideraciones previas

En las Tablas anteriores (Tablas núms. 1 a 4), además de la característica de los eventos, se recogían también las pérdidas de suelo (PS) en cada parcela con relación al evento, así como la cobertura vegetal (CV). Pero, como es bien conocido, el efecto de la intensidad de la precipitación en el desprendimiento de las partículas del suelo (y por lo tanto en las tasas de erosión finales) es algo decisivo a la hora de la movilización de dichas partículas. En consecuencia, ahora se procederá a un análisis de su

relación estadística en cada año hidrológico con objeto de acercarnos un poco más en la determinación de su incidencia sobre la erosión.

El análisis de los distintos años hidrológicos (Cuadros núms. 3 a 6), nos proporcionan una información que calificaríamos como de parcial ya que tanto los valores

Cuadro nº 3. Resultados de los análisis estadísticos de las pérdidas de suelo (PS) versus los índices  $I_{30}$  e  $I_{10}$  para el año hidrológico 1995-1996.

correlación	ecuación	valor índice		% de variación atribuible a	
		R <sup>2</sup>	r	variable x	otras causas
PS P1 - $I_{30}$	$y = 66,184x + 2,8619$	0,4698	0,6854	46,98	53,02
PS P2 - $I_{30}$	$y = 40,464x + 2,8291$	0,5056	0,7111	50,56	49,44
PS P3 - $I_{30}$	$y = 106,98x + 2,497$	0,289	0,5376	28,90	71,10
PS P1 - $I_{10}$	$y = 197,59x + 9,5275$	0,4188	0,6471	41,88	58,12
PS P2 - $I_{10}$	$y = 115,37x + 9,582$	0,4111	0,6412	41,11	58,89
PS P3 - $I_{10}$	$y = 265,35x + 9,179$	0,1778	0,4217	17,78	82,22

PS: pérdidas de suelo; P1, P2, P3: parcela 1, 2, 3.

Cuadro nº 4. Resultados de los análisis estadísticos de las pérdidas de suelo (PS) versus los índices  $I_{30}$  e  $I_{10}$  para el año hidrológico 1996-1997.

correlación	ecuación	valor índice		% de variación atribuible a	
		R <sup>2</sup>	r	variable x	otras causas
PS P1 - $I_{30}$	$y = 19,279x + 3,5445$	0,0862	0,2936	8,62	91,38
PS P2 - $I_{30}$	$y = 21,199x + 3,5648$	0,097	0,3114	9,70	90,30
PS P3 - $I_{30}$	$y = 18,094x + 3,672$	0,0726	0,2694	7,26	92,74
PS P1 - $I_{10}$	$y = 60,507x + 11,696$	0,0897	0,2995	8,97	91,03
PS P2 - $I_{10}$	$y = 68,773x + 11,701$	0,1077	0,3282	10,77	89,23
PS P3 - $I_{10}$	$y = 56,028x + 12,116$	0,0725	0,2693	7,25	92,75

PS: pérdidas de suelo; P1, P2, P3: parcela 1, 2, 3; AH: año hidrológico.

Cuadro nº 5. Resultados de los análisis estadísticos de las pérdidas de suelo (PS) versus los índices  $I_{30}$  e  $I_{10}$  para el año hidrológico 1997-1998.

correlación	ecuación	valor índice		% de variación atribuible a	
		R <sup>2</sup>	r	variable x	otras causas
PS P1 - $I_{30}$	$y = 80,119x + 3,5901$	0,1874	0,4329	18,74	81,26
PS P2 - $I_{30}$	$y = 50,795x + 4,1898$	0,0422	0,2054	4,22	95,78
PS P3 - $I_{30}$	$y = 26,07x + 4,4506$	0,0073	0,0854	0,73	99,27
PS P1 - $I_{10}$	$y = 281,4x + 12,153$	0,1682	0,4101	16,82	83,18
PS P2 - $I_{10}$	$y = 211,65x + 13,99$	0,0533	0,2309	5,33	94,67
PS P3 - $I_{10}$	$y = 118,11x + 15,022$	0,0108	0,1039	1,08	98,92

PS: pérdidas de suelo; P1, P2, P3: parcela 1, 2, 3; AH: año hidrológico.

Cuadro nº 6. Resultados de los análisis estadísticos de las pérdidas de suelo (PS) *versus* los índices  $I_{30}$  e  $I_{10}$  para el año hidrológico 1998–1999.

correlación	ecuación	valor índice		% de variación atribuible a	
		R <sup>2</sup>	r	variable x	otras causas
PS P1 - $I_{30}$	$y = 89,33 x + 4,0578$	0,1608	0,4010	16,08	83,92
PS P2 - $I_{30}$	$y = 228,09 x + 3,5546$	0,2058	0,4537	20,58	79,42
PS P3 - $I_{30}$	$y = 243,08 x + 4,0305$	0,0815	0,2855	8,15	91,85
PS P1 - $I_{10}$	$y = 282,46 x + 13,89$	0,1486	0,3855	14,86	85,14
PS P2 - $I_{10}$	$y = 638,32 x + 12,644$	0,1490	0,3860	14,90	85,10
PS P3 - $I_{10}$	$y = 555,84 x + 14,219$	0,0394	0,1985	3,94	96,06

PS: pérdidas de suelo; P1, P2, P3: parcela 1, 2, 3; AH: año hidrológico.

de  $r$  como de  $R^2$  son en general bajos, por lo que estadísticamente son poco significativos. Sin embargo, vistas las cosas desde otro ángulo, lo que nos indican es que dentro del proceso de erosión del suelo en terrenos cultivados hay otros factores, al margen de la intensidad de la precipitación, que desempeñan un papel nada desdeñable a la hora de plantear su incidencia en la génesis de dichos procesos asociados al laboreo de la tierra según los métodos tradicionales, al menos en los ambientes templado-húmedos que es donde se desarrolló nuestra investigación. Cabría apuntar, pues, como hipótesis que la presencia o ausencia de cobertura vegetal desempeña un papel decisivo, más aún incluso que la intensidad de la precipitación. Finalmente de las correlaciones efectuadas en los cuatro años hidrológicos, todas ellas positivas, se deduce que sólo en el primero de ellos (AH 1995-1996) algunas de las variables podrían estar correladas. En los demás casos y años, las correlaciones son muy poco significativas.

#### 4.3.2 *Influencia de los grupos de intensidad establecidos con los índices $I_{30}$ e $I_{10}$ en las pérdidas de suelo*

Hemos establecido, a fin de aproximarnos a este hecho sin duda importante a pesar de la aseveración que hicimos en el apartado anterior, una clasificación en “grupos” de los distintos índices en función de su importancia en el proceso erosivo. Así se han clasificado a los dos índices ( $I_{30}$  e  $I_{10}$ ) en 4 grupos de acuerdo con el número de eventos. Se señala el valor de esos eventos en cada grupo y en cada año hidrológico; y finalmente se comparan los porcentaje de pérdidas de suelo en cada grupo, en cada parcela y por año hidrológico (Tabla nº 7). En total se analizan en cada índice 214 eventos en los cuales hubo pérdidas de suelo.

A continuación haremos un análisis de los distintos grupos, según el índice de intensidad.

#### 4.3.2.1 *Análisis de los grupos para el índice $I_{30}$*

##### *a) Grupo I ( $I_{30} > 20 \text{ mm h}^{-1}$ )*

Sólo hubo un evento de intensidad muy alta en los 4 AH estudiados (en el AH 1997-1998) que supuso el 0,44% sobre el total de los 214 eventos calificados como erosivos y representó el 9,96% de las PS totales en la P1, el 6,8% en la P2 y el 4,1% en la P3.

##### *b) Grupo II ( $20 \text{ mm h}^{-1} > I_{30} > 10 \text{ mm h}^{-1}$ )*

En este grupo hubo 11 eventos de intensidad alta (el 5,2% sobre la totalidad), aunque se registra una diversidad muy acentuada entre las distintas parcelas, y en especial se aprecia en los AH 1995-1996 y 1998-1999.

##### *c) Grupo III ( $10 \text{ mm h}^{-1} > I_{30} > 5 \text{ mm h}^{-1}$ )*

Se registraron 61 eventos que podemos calificar como intensidades moderadas (el 29% sobre el total de los estudiados). El porcentaje máximo de pérdidas de suelo registrado en este grupo fue durante el AH 1996-1997, con un 47% sobre el total en la P1, del 54,5% en la P2 y del 53,5% en la P3.

##### *d) Grupo IV ( $I_{30} < 5 \text{ mm h}^{-1}$ )*

Se engloban en él las intensidades bajas, y es el que registra un mayor número de casos con 141 (el 65% sobre el total). Aún así no se observa una preponderancia clara, pues estas intensidades fluctúan según el año hidrológico. Al analizar el porcentaje de las pérdidas de suelo, los valores máximos se registran durante el AH 1997-1998 (clasificado como de régimen hidrológico húmedo; *cfr.* Vila García, 2005) y en él destacan los valores de 45,5% de PS en la P1, 51,83 en la P2 y 55 en la P3.

#### 4.3.2.2 *Análisis de los grupos para el índice $I_{10}$*

Los valores obtenidos se recogen en la siguiente tabla (Tabla nº 8).

##### *a) Grupo I ( $I_{10} > 45 \text{ mm h}^{-1}$ )*

En total hubo 4 eventos de intensidad muy alta en los 4 AH estudiados, aunque hay que indicar que no se registró ninguno durante el AH 1998-1999. Estos eventos sólo representan el 1,86% del total de los 214 eventos calificados como erosivos. Sus valores son muy heterogéneos. Así por ejemplo la P1 registró el 23,4% durante el AH 1995-1996 (clasificado como muy húmedo: “MH”; *cfr.* Vila García, 2005), y el 0,78% en el AH 1996-1997 (clasificado como normal: “N”; *cfr. ibidem*).

##### *b) Grupo II ( $45 \text{ mm h}^{-1} > I_{10} > 30 \text{ mm h}^{-1}$ )*

En este grupo hubo 10 eventos de intensidad alta (suponen el 4,65% sobre la totalidad). Se observa una cierta homogeneidad en los valores comprendidos en el umbral de 5 a 11,5 mm durante los tres primeros años de estudio. La mayor diferencia se registra en el AH 1998-1999; y en especial en la P1, donde las pérdidas de suelo

supusieron el 27,6%, sin duda debido al cultivo de maíz<sup>4</sup> ya que en las otras dos parcelas los porcentajes son similares a los años anteriores.

*c) Grupo III ( $30 \text{ mm h}^{-1} > I_{10} > 15 \text{ mm h}^{-1}$ )*

Hubo un total de 69 eventos con intensidades moderadas (el 32,69% sobre el total de los eventos). El porcentaje máximo de pérdidas de suelo se da en los umbrales del 31,58% de la P2 en el AH 1997-1998 y el 56,25% de la P3 en el AH 1998-1999.

*d) Grupo IV ( $I_{10} < 15 \text{ mm h}^{-1}$ )*

Las intensidades bajas suman un total de 132 eventos que vienen a representar el 61,4% sobre el total. Los límites de las pérdidas de suelo están comprendidos entre el 31,2% de la P2 en el AH 1995-1996 y el 58,31 de la P1 en el AH 1996-1997.

## 5. Discusión y conclusiones

**5.1.** La aplicación de los valores índice  $I_{30} > 20 \text{ mm h}^{-1}$  para explicar el 80% de las pérdidas de suelo en ambientes áridos no tiene, lógicamente, validez en ambientes oceánicos propios de Galicia ya que o bien no se registran  $I_{30}$  por encima de esos valores o, cuando se registran, representan menos del 10% de las pérdidas de suelo totales anuales (frente al 80%).

**5.2.** No existe una preponderancia clara que permita establecer un valor de la  $I_{30}$  a partir del cual las pérdidas de suelo sea mucho más relevante, si bien se aprecia un umbral significativo comprendido entre el 33,04% y el 55% de las PS para valores con una  $I_{30} < 5 \text{ mm h}^{-1}$ .

**5.3.** Al margen de las características físicas de la lluvia, de la erosionabilidad del suelo, de las condicionantes topográficas de las parcelas y del tipo de uso del suelo y manejo al que se someta el cultivo, consideramos que el umbral en el que la intensidad de precipitación es erosivo, y por lo tanto produce pérdidas de suelo, en el índice  $I_{30}$  está en  $5,5 \text{ mm h}^{-1}$ , y en el  $I_{10}$  en  $21,6 \text{ mm h}^{-1}$ . Por lo tanto, en los cuatro años y 565 eventos de estudio (se incluyen los eventos con y sin pérdidas de suelo), el índice  $I_{30} > 5,5 \text{ mm h}^{-1}$  siempre es erosivo (el 11,1% de los eventos con precipitación), lo cual explica las conclusiones de Morgan (1996) al considerar que se sobrevaloraban las tasas de erosión si se empleaba el índice  $I_{10}$ . Anualmente se repartieron del siguiente modo: 9,5% para el año hidrológico 1995-1996; el 14,6% en AH 1996-1997; el 7,9% en AH 1997-1998; y el 12,4% para el año hidrológico 1998-1999.

**5.4.** En el índice  $I_{10}$  los valores superiores a  $21,6 \text{ mm h}^{-1}$  se registran en el 7,96% de los 565 eventos, distribuidos en el 7,9% durante el año hidrológico 1995-1996; 6,9% en 1996-1997; 7,9% en 1997-1998; y 9,1% durante 1998-1999. Esto contradice la ido-

<sup>4</sup> Se introdujo en la experimentación en la etapa final y por muy breve tiempo, por ello no se indicó ni lo individualizamos en el apartado "material y métodos".

neidad del índice  $I_{10}$  para emplear en suelos con cobertura vegetal variable propuesto por Stocking & Elwell (1976), al menos en regímenes pluviométricos húmedos.

**5.5.** En el caso del  $I_{30}$ , con intensidades de precipitación de  $0,2 \text{ mm h}^{-1}$  en 30 min. nunca se registran pérdidas de suelo, y se dió en el 29% de los eventos totales de precipitación; además hay que añadir el 9,02% de intensidades de precipitación con un valor de  $0,4 \text{ mm h}^{-1}$ . Así en el tiempo estudiado los eventos sin poder erosivo, es decir con una  $I_{30}$  igual o inferior a  $0,4 \text{ mm h}^{-1}$ , alcanzaron el 38,02% del total, distribuidos en el 35,7% para el AH 1995-1996, el 31,9% (AH 1996-1997), el 30,2% (AH 1997-1998), y el 40,5% (AH 1998-1999).

**5.6.** En el caso del  $I_{10}$ , de un total de 565 eventos registrados, 291 eventos tuvieron una  $I_{10}$  de 1,2; 2,4 y  $3,6 \text{ mm h}^{-1}$  lo cual supone el 51,5% de las intensidades máximas para  $I_{10}$  y de este porcentaje sólo el 5,1% (15 eventos en total) es erosivo. De esta manera el 94,9% de la  $I_{10}$  con un valor igual o inferior a  $3,6 \text{ mm h}^{-1}$  no producen pérdidas de suelo.

**5.7.** En los análisis realizados por Basanta Cornide (1997) con una  $I_{30} > 20 \text{ mm h}^{-1}$  se contabilizaron 7 eventos, siendo el máximo valor  $28,8 \text{ mm h}^{-1}$  el registrado durante el mes de noviembre.

**5.8.** Teniendo en cuenta que el periodo de 3 años analizados por Basanta Cornide (1997) fueron años con un régimen hidrológico normal en contraposición con el AH 1995-1996 (MH) y el 1997-1998 (H) (*cf.* Vila García, 2005) no se aprecia ninguna preponderancia ni en la cantidad de precipitación anual, ni en la precipitación total por evento, ni en la temporalidad del evento que permita relacionar la intensidad de los índices  $I_{30}$  con el régimen hidrológico anual.

**5.9.** Los ajustes de las pérdidas de suelo con las intensidades de precipitación en 10 y 30 min. representan dos comportamientos claros:

**5.9.1.** Durante el AH 1995–1996 con un régimen hidrológico húmedo y unas pérdidas de suelo según el índice de Zachar de grado 3–4 (es decir erosión media o severa), la P1 y P2 relacionan en un 50% aproximadamente las pérdidas de suelo, a causa del índice  $I_{30}$ .

**5.9.2.** En el resto del periodo de estudio (AH: 1996-1997; 1997-1998 y 1998-1999) ninguno de los índices ( $I_{30}$  ó  $I_{10}$ ) explican las pérdidas de suelo en una relación causa-efecto que se pueda considerar determinante, es decir con un valor de la  $r$  de Pearson superior a 0,7. Por lo tanto los valores atribuibles a la variable  $x$  son muy inferiores al 50% y la compresión de las pérdidas de suelo deben ser atribuibles a otras causas y factores.

## Bibliografía

- Basanta Cornide, R. (1997): *Influencia de las técnicas de implantación de cultivos y prados en terrenos a monte sobre la conservación del suelo y del agua*. Universidad de Santiago. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Tesis Doctoral. (inédita)
- Bolline, A. (1977): «La vitesse de l'érosion sous culture en région limoneuse». *Pedologie*, 27: 191-206. En Morgan, R. P. C. (1986). *Soil Erosion and conservation*. Longman Scientific and Technical. New York.
- Hudson, N. W. (1965): *The influence of rainfall on the mechanics of soil erosion with particular reference to Southern Rhodesia*. MSc Thesis. University of Cape Town. En Morgan, R. P. C. (1986). *Soil Erosion and Conservation*. Longman Scientific and Technical. New York.
- Hudson, N. W. (1981): "Instrumentation for studies of the erosive power of rainfall." In *Erosion and Sediment Transport Measurement*. Proceedings of the Florence Symposium. International Association of Hydrological Sciences, 133: 372 - 382.
- Martínez-Mena, M.; Castillo, V.; Albadalejo, J. (2001): "Hydrological and erosional response to natural rainfall in a degraded semiared area of south-east Spain". *Hydrological Processes*, 15: 55- 571.
- Morgan, R. P. C. (1974): "Estimating regional variations in soil erosion hazard in Peninsular Malaysia". *Malay Nature Journal*, 28: 94-106.
- Morgan, R. P. C. (1977): *Soil erosion in the United Kingdom: field studies in the Silsoe area. 1973 - 75*. National College Agricultural Engineering. Silsoe Occasional Paper 4.
- Morgan, R. P. C. (1980): "Soil erosion and conservation in Britain." *Processes in Physical Geography*, 4: 24-47.
- Morgan, R. P. C. (1986): *Soil erosion and conservation*. Longman Scientific and Technical. England.
- Morgan, R. P. C. (1996): *Erosión y Conservación del Suelo*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- Rapp, A.; Axelsson, V.; Berry, L.; Murray - Rusi, D. H. (1972): "Soil erosion and sediment transport in the Morogoro river catchment". *Geografiska Annaler*, 54-A: 125-155.
- Richter, G.; Negendank, J. F. W. (1977): "Soil erosion processes and their measurement in the German area of the Moselle river." *Earth Surface Processes*, 2: 261-278.
- Wischmeier, W. H.; Smith, D. D. (1958): "Rainfall energy and its relationship to soil loss". *Transactions of the American Geophysical Union*, 39: 285-291. Tomado de Morgan, R.P.C. (1996). *Erosión y...* op. cit.
- Rodríguez Martínez-Conde, R. (1996): "Estaciones Experimentales de Santiago de Compostela (La Coruña)". In *PROYECTO LUCDEME*, 108-111. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- Rodríguez Martínez-Conde, R. (1997): "Parcelas Experimentales del Departamento de Geografía de la Universidad de Santiago". En Rojo Serrano, L. & Sánchez Fuster, M.C.: *Red de Estaciones Experimentales de Seguimiento y Evaluación de la Erosión y la Deserti-*

- ficación, RESEL*. Catálogo de estaciones, 1997, 271-284. Proyecto Lucdeme. Ministerio de Medio Ambiente.
- Stocking, M. A.; Elwell, H. A. (1973): "Soil erosion hazard in Rhodesia". *Rhodesian Agricultural Journal*, 70: 93 - 101. En Morgan, R. P. C. (1986). *Soil Erosion and Conservation*. Longman Scientific and Technical. New York.
- Vila García, R. (2005): *A erosión hídrica. Aproximación os principais procesos e factores que interveñen nas perdas de solo da labra tradicional galega*. Departamento de Xeografía. Universidade de Santiago de Compostela. Teses Doutoral (Publicación en CD, en prensa)
- Vila García, R.; Rodríguez-Martínez-Conde, R.; Díaz Fierros-Viqueira, F. (2005): "Importancia de los índices de intensidad de precipitación  $I_{30}$  (I. P. máx. 30 min.) en relación con el control de las pérdidas de suelo, en un ambiente templado húmedo de la Galicia occidental". En Jiménez Ballesta, R. y Álvarez González, A.M. (Eds.): *II Simposio Nacional Sobre Control de la Erosión y Degradación de Suelos*, 327-331. Madrid.

Tabla nº 1. Intensidades de precipitaciones en 30 minutos ( $I_{30}$ ) y en 10 minutos ( $I_{10}$ ), y porcentajes de pérdidas de suelo (PS) en el año hidrológico 1995–1996.

Nº evento	$I_{30}$	$I_{10}$	% PS P1	% CV P1	% PS P2	% CV P2	% PS P3	% CV P3
1	17,8	56,4	23,42	-	22,94	-	2,55	-
2	11,4	34,6	3,27	-	4,00	-	4,73	-
3	10,2	25,2	1,29	-	1,35	-	4,34	-
4	9,6	25,2	13,45	-	15,87	-	12,15	-
5	9,4	32,4	3,85	-	1,09	-	3,27	-
6	8,6	24	1,22	-	1,44	-	4,07	-
7	8	25,2	2,48	-	4,08	-	6,01	-
8	6,2	16,8	0,29	-	1,13	-	1,82	-
9	6	25,2	1,11	-	0,91	-	0,32	-
10	5,8	18	1,56	-	2,43	-	2,78	-
11	5,6	18	1,59	-	2,13	-	2,65	-
12	5,6	16,8	5,43	-	1,53	-	4,61	-
13	5,2	21,6	0,90	-	1,12	-	3,04	-
14	5,2	21,6	0,24	-	0,20	-	0,05	-
15	4,8	20,4	2,74	-	0,77	-	2,31	-
16	4,6	16,8	0,99	-	2,54	-	2,47	-
17	4,6	16,8	0,11	-	0,20	-	0,09	-
18	4,4	13,2	5,08	-	5,66	-	4,35	-
19	4,2	7,2	0,51	-	1,38	-	1,78	-
20	4	10,8	1,91	-	3,21	-	4,27	-
21	4	15,6	0,57	-	1,51	-	2,04	-
22	4	13,2	0,18	-	0,12	-	0,09	-
23	3,8	16,8	0,83	-	2,20	-	2,20	-
24	3,2	19,2	0,07	-	0,05	-	0,03	-
25	3,2	8,4	0,80	-	0,90	-	0,28	-
26	3,2	25	1,31	-	1,29	-	1,38	-
27	3,2	8,4	2,54	-	3,05	-	1,65	-
28	2,8	9,6	0,42	-	0,95	-	0,69	-
29	2,8	7,2	2,62	-	0,74	-	2,24	-
30	2,6	6	0,29	-	0,42	-	0,96	-
31	2,6	6	0,08	-	0,05	-	0,14	-
32	2,6	8,4	0,27	-	0,67	-	0,04	-
33	2,2	7,2	0,36	-	0,73	-	0,73	-
34	2,2	7,2	0,22	-	0,14	-	0,62	-
35	2,2	8,4	0,28	-	0,33	-	0,19	-
36	2,2	8,4	0,02	-	0,03	-	0,03	-
37	2	7,2	0,81	-	1,93	-	3,74	-
38	2	7,2	0,37	-	0,69	-	0,64	-
39	2	7,2	0,23	-	0,20	-	0,58	-
40	2	6	1,44	-	1,61	-	3,37	-
41	1,8	3,6	0,04	-	0,04	-	0,04	-
42	1,8	8,4	0,52	-	0,29	-	0,08	-
43	1,8	3,6	0,27	-	0,49	-	0,05	-
44	1,6	4,8	0,04	-	0,04	-	0,03	-
45	1,6	8,4	0,56	-	0,39	-	0,16	-
46	1,4	3,6	0,33	-	1,09	-	1,47	-
47	1,4	7,2	1,91	-	0,54	-	1,62	-
48	1,2	2,4	0,18	-	0,12	-	0,12	-
49	1,2	2,4	0,03	-	0,03	-	0,03	-
50	1	4,8	0,10	-	0,09	-	0,07	-
51	1	4,8	0,07	-	0,09	-	0,11	-
52	0,8	2,4	4,14	-	2,70	-	1,82	-
53	0,8	2,4	5,69	-	1,61	-	4,84	-
54	0,6	1,2	0,95	-	0,87	-	0,22	-

PS: pérdidas de suelo; CV: cobertura vegetal; P1, P2, P3: parcela 1, 2, 3.

Tabla nº 2. Intensidades de precipitaciones en 30 minutos ( $I_{30}$ ) y en 10 minutos ( $I_{10}$ ), y porcentajes de pérdidas de suelo (PS) en el año hidrológico 1996–1997.

Nº evento	$I_{30}$	$I_{10}$	% PS P1	% CV P1	% PS P2	% CV P2	% PS P3	% CVP3
1	18,6	54	0,25	49	0,25	51	0,20	61
2	12,2	42	11,59	31	11,49	48	10,18	41
3	10,4	52,8	0,48	0	0,71	0	0,83	0
4	9,8	28,8	2,78	0	6,33	0	6,90	0
5	9,6	28,8	0,02	0	0,26	0	0,10	0
6	9,2	28,8	3,74	36	2,57	52	3,68	46
7	8	19,2	0,84	0	0,25	51	0,22	61
8	8	31,2	0,14	49	0,36	0	0,55	0
9	6,6	19,2	0,43	90	1,26	85	0,94	87
10	6,2	18	0,55	90	1,89	85	1,49	87
11	6	21,6	8,00	21	13,81	63	14,08	60
12	6	14,4	6,44	79	0,71	63	0,34	61
13	6	20,4	0,42	80	9,26	22	3,11	27
14	5,6	22,8	0,19	26	0,00	27	0,00	36
15	5,4	13,2	12,17	57	9,10	57	13,66	54
16	5,4	19,2	5,21	16	2,97	17	4,41	14
17	5,2	13,2	0,01	48	0,00	52	0,00	68
18	5	18	4,29	36	5,00	52	4,03	46
19	5	22,8	1,51	21	0,75	22	0,00	27
20	4,8	14,4	5,84	49	0,00	85	0,00	87
21	4,8	10,8	0,32	90	4,06	51	2,92	61
22	4,55	12	4,65	84	4,58	69	5,24	72
23	4,4	12	0,00	46	0,00	37	0,05	53
24	4,2	10,8	1,72	80	2,39	63	4,02	61
25	4,2	15,6	0,63	81	0,72	64	0,99	66
26	4,2	15,6	0,49	82	0,62	64	0,78	70
27	4	10,8	3,00	90	0,00	84	0,00	82
28	4	10,8	0,14	26	0,00	27	0,00	36
29	4	20,4	0,08	49	0,21	51	0,19	61
30	3,8	16,8	0,03	57	0,16	52	0,16	70
31	3,6	14,4	0,90	31	0,90	48	0,79	41
32	3,4	12	0,47	57	0,05	83	0,00	79
33	3,4	13,2	0,14	92	0,02	14	0,02	10
34	3,4	12	0,02	12	0,58	52	0,61	70
35	3,2	12	1,24	81	1,14	64	1,69	66
36	3,2	10,8	0,08	81	0,07	64	0,07	66
37	3	14,4	0,09	81	0,08	63	0,08	63
38	2,6	9,8	0,04	93	0,14	82	0,20	76
39	2,4	7,2	4,74	90	0,23	57	0,05	54
40	2,4	11	0,10	57	3,28	84	5,85	82
41	2,2	7,2	2,55	19	2,22	52	1,74	46
42	2,2	12	1,83	36	0,85	17	0,00	14
43	2,2	10,8	1,43	16	1,45	20	1,19	19
44	2	4,8	1,14	90	0,19	64	0,13	70
45	2	4,8	0,69	90	0,10	69	0,11	72
46	2	4,8	0,43	90	0,75	78	0,63	74
47	2	4,8	0,23	84	1,26	78	1,10	74
48	2	4,8	0,17	82	1,83	78	1,59	74
49	2	6	0,01	0	0,00	0	0,00	0
50	1,8	6	2,82	48	1,95	54	2,78	49
51	1,8	3,6	0,18	84	0,04	69	0,03	72
52	1,6	3,6	1,43	79	1,86	63	0,05	60
53	1,6	3,6	0,00	48	0,00	52	0,01	68
54	1,4	7,2	3,16	90	1,28	84	2,19	82
55	1	4,8	0,02	80	0,01	63	0,00	61
56	0,8	2,4	0,09	80	0,00	63	0,00	61
57	0,6	1,2	0,01	92	0,00	83	0,00	79
58	0,4	1,2	0,01	90	0,00	78	0,00	74

PS: pérdidas de suelo; CV: cobertura vegetal; P1, P2, P3: parcela 1, 2, 3.

Tabla nº 3. Intensidades de precipitaciones en 30 minutos ( $I_{30}$ ) y en 10 minutos ( $I_{10}$ ), y porcentajes de pérdidas de suelo (PS) en el año hidrológico 1997–1998.

Nº evento	$I_{30}$	$I_{10}$	% PS P1	% CV P1	% PS P2	% CV P2	% PS P3	% CV P3
1	22,5	84	9,96	0	6,78	64	4,09	0
2	11,4	42	0,21	38	0,24	54	0,13	57
3	11,2	39,6	2,90	41	2,31	54	3,14	65
4	11,2	39,6	1,22	29	0,78	51	0,76	25
5	8,4	19,2	10,87	16	3,73	51	2,50	65
6	7,4	24	1,63	24	2,60	66	1,17	38
7	7,2	19,2	3,11	19	2,69	66	0,73	65
8	7	19,2	5,19	57	6,60	66	8,34	44
9	7	34,8	6,39	48	8,22	66	5,45	65
10	6,8	10,8	0,11	51	0,22	67	0,35	66
11	6,4	20,4	3,44	43	3,62	67	5,64	42
12	5,6	14,4	1,61	0	1,69	70	2,00	0
13	5,6	23	0,11	0	0,07	70	0,03	0
14	5,4	28,8	1,93	51	3,82	68	6,09	66
15	5,4	24	1,36	23	1,40	63	0,92	30
16	5,4	27,4	0,17	0	0,11	63	0,06	0
17	5,2	13,2	0,28	44	0,20	63	0,29	69
18	5,2	13,2	0,10	38	0,13	59	0,16	56
19	5	21,6	1,45	39	1,33	57	0,92	59
20	5	15,6	1,89	36	1,29	57	2,03	56
21	5	21,6	0,53	0	0,36	57	0,22	0
22	4,4	16,8	2,73	38	2,60	57	4,79	57
23	4,4	14,4	0,38	0	0,38	57	0,51	0
24	4,2	9,6	1,24	43	2,00	57	1,90	42
25	4,2	13,2	2,40	12	1,93	57	0,48	54
26	4	12	3,99	48	5,29	57	3,39	65
27	3,8	12	1,34	0	1,82	56	0,63	0
28	3,6	8,4	0,50	41	0,36	54	0,57	65
29	3,4	9,6	0,00	55	0,02	39	0,13	70
30	3,4	8,4	0,09	55	0,16	42	0,22	70
31	3,4	13,2	0,31	37	0,31	0	0,54	58
32	3,4	10,8	1,53	8	1,24	0	0,35	33
33	3,2	12	1,41	48	1,49	0	1,20	65
34	3,2	18	1,86	0	1,36	0	1,55	0
35	3,2	7,2	0,00	66	0,07	0	0,03	49
36	3,2	10,8	0,07	66	0,40	0	0,16	49
37	3	7,2	0,18	48	0,18	0	0,16	65
38	2,8	8,4	1,82	38	1,69	0	3,45	56
39	2,8	10,8	1,72	0	1,24	0	1,46	0
40	2,8	8,4	0,18	0	0,09	0	0,16	0
41	2,6	8,4	0,17	38	0,18	0	0,13	57
42	2,6	8,4	0,68	0	1,13	0	0,38	0
43	2,6	8,4	5,37	12	3,91	0	5,17	11
44	2,6	8,4	0,09	25	0,09	22	0,06	22
45	2,6	6	1,18	29	0,78	43	0,76	25
46	2,6	12	0,43	8	0,38	45	0,10	33
47	2	9,6	0,33	0	0,24	45	0,29	0
48	1,8	6	11,91	77	19,80	75	23,74	29
49	1,8	6	0,00	57	0,00	75	0,00	44
50	1,8	10,8	0,04	41	0,02	27	0,10	65
51	1,8	6	0,11	38	0,11	27	0,06	57
52	1,6	7,2	0,34	8	0,36	27	0,10	33
53	1,2	6	0,33	38	0,38	48	0,19	57
54	1,2	3,6	1,12	36	0,80	60	1,14	55
55	1,2	5,8	1,68	0	1,02	60	1,11	0

PS: pérdidas de suelo; CV: cobertura vegetal; P1, P2, P3: parcela 1, 2, 3.

Tabla nº 4. Intensidades de precipitaciones en 30 minutos ( $I_{30}$ ) y en 10 minutos ( $I_{10}$ ), y porcentajes de pérdidas de suelo (PS) en el año hidrológico 1998–1999.

Nº evento	$I_{30}$	$I_{10}$	% PS P1	% CV P1	% PS P2	% CV P2	% PS P3	% CV P3
1	11	34,8	27,29	71	1,83	73	0,00	76
2	10,4	27,6	1,73	78	1,98	78	2,80	76
3	9,8	26,4	1,58	79	2,72	76	2,30	79
4	9,4	25,2	0,11	63	0,59	11	2,00	21
5	8,4	24	1,58	78	0,59	82	0,20	79
6	7,8	22,8	0,08	36	3,51	0	0,80	0
7	7,4	30	0,04	8	0,15	3	0,00	2
8	7,2	22,8	8,36	65	11,57	95	16,42	94
9	7	31,2	0,23	68	3,81	14	3,50	25
10	6,6	16,8	1,17	79	2,57	76	1,30	78
11	6,6	24	1,66	62	0,79	0	0,30	0
12	6,6	24	9,52	69	3,11	57	0,60	60
13	6,2	18	0,26	47	4,84	3	6,21	9
14	6	19,2	0,49	59	6,43	9	7,31	17
15	6	18	0,15	59	2,77	9	5,61	17
16	5,8	14,4	0,11	29	0,59	19	0,00	24
17	5,8	28,8	2,71	64	1,29	67	0,40	77
18	5,6	20,4	0,75	47	5,73	3	3,10	9
19	5,2	19,2	7,23	69	2,37	57	0,40	60
20	5	28,8	0,04	80	0,20	24	0,20	35
21	4,8	13,2	6,36	71	2,17	73	0,20	76
22	4,6	14,4	1,99	73	1,63	70	2,30	67
23	4,6	8,4	0,34	59	5,09	9	10,01	17
24	4,4	14,4	2,11	76	2,42	81	3,40	72
25	4,4	14,4	0,11	59	2,27	9	0,40	17
26	4,2	13,2	0,87	74	0,35	78	0,10	76
27	4,2	20,4	0,11	59	1,73	9	3,50	17
28	4,2	13,2	0,11	0	0,44	36	0,20	49
29	3,8	13,2	6,25	15	0,69	60	5,31	63
30	3,8	14,4	0,00	28	0,40	0	0,00	0
31	3,8	16,8	0,08	63	0,35	11	1,60	21
32	3,8	16,8	3,69	71	1,29	73	0,20	76
33	3,4	16,8	0,60	43	0,35	38	0,00	38
34	3,2	12	2,60	79	2,67	76	2,50	79
35	3,2	15,6	0,08	63	0,30	11	1,00	21
36	3,2	9,6	0,11	75	1,93	19	1,80	29
37	3	12	0,04	68	3,91	14	3,50	25
38	3	9,6	0,08	75	1,24	19	1,20	29
39	2,8	7,2	0,04	8	0,30	3	0,00	2
40	2,4	13,2	0,04	28	1,19	0	0,10	0
41	2,2	9,6	8,54	15	6,72	60	6,11	63
42	2,2	6	0,11	43	0,05	38	0,00	38
43	2,2	7,2	0,04	75	0,30	72	0,10	72
44	2	7,2	0,15	73	0,40	75	0,20	72
45	2	7,2	0,00	18	1,09	0	0,10	0
46	1,8	6	0,08	42	0,05	67	0,00	77
47	1,6	3,6	0,15	72	1,53	93	0,30	91
48	1,4	3,6	0,15	73	0,35	75	0,20	72
49	1,2	3,6	0,04	59	0,54	9	1,30	17
50	1,2	3,6	0,04	68	0,20	14	0,80	25
51	1,2	2,4	0,00	42	0,05	67	0,00	77
52	0,8	4,8	0,04	72	0,49	93	0,10	91
53	0,4	1,2	0,00	8	0,10	3	0,00	2

PS: pérdidas de suelo; CV: cobertura vegetal; P1, P2, P3: parcela 1, 2, 3.

Tabla nº 5. Tipo, número y porcentaje de los eventos de precipitación ordenados de modo decreciente, según los índices de intensidad, a lo largo del período de estudio

I <sub>30</sub>			I <sub>10</sub>		
mm	nº eventos	%	mm	nº eventos	%
0.2	144	25,76	1.2	196	35,19
0.4	51	9,12	2.4	51	9,16
0.8	36	6,44	3.6	44	7,9
0.6	23	4,11	4.8	36	6,46
1.2	20	3,58	7.2	27	4,85
2.0	20	3,58	8.4	26	4,67
1.0	19	3,4	6.0	23	4,13
1.8	19	3,4	12.0	16	2,87
1.4	18	3,22	10.8	13	2,33
2.2	18	3,22	13.2	13	2,33
3.2	14	2,5	16.8	12	2,15
6.0	14	2,5	14.4	11	1,97
2.6	13	2,33	19.2	10	1,8
1.6	12	2,15	9.6	9	1,62
3.4	10	1,79	20.4	6	1,08
4.0	10	1,79	24.0	6	1,08
2.8	9	1,61	25.2	6	1,08
4.2	9	1,61	28.8	6	1,08
3.8	8	1,43	15.6	5	0,9
4.4	6	1,07	18.0	5	0,9
4.6	6	1,07	21.6	5	0,9
5.0	6	1,07	22.8	4	0,72
5.6	6	1,07	6.6	3	0,54
2.4	5	0,89	31.2	2	0,36
3.0	5	0,89	34.8	2	0,36
4.8	5	0,89	42.0	2	0,36
5.4	5	0,89	4.2	1	0,18
6.6	5	0,89	4.6	1	0,18
5.2	4	0,72	5.8	1	0,18
3.6	3	0,54	9.8	1	0,18
5.8	3	0,54	11.0	1	0,18
6.2	2	0,36	17.8	1	0,18
7.0	2	0,36	23.0	1	0,18
8.0	2	0,36	25.0	1	0,18
8.4	2	0,36	26.4	1	0,18
8.6	2	0,36	27.4	1	0,18
9.4	2	0,36	27.6	1	0,18
9.6	2	0,36	30.0	1	0,18
9.8	2	0,36	34.2	1	0,18
10.4	2	0,36	36.0	1	0,18
11.4	2	0,36	52.8	1	0,18
6.8	1	0,18	54.0	1	0,18
7.2	1	0,18	56.4	1	0,18
7.4	1	0,18	84.0	1	0,18
7.6	1	0,18	<b>Total</b>	<b>557</b>	<b>100</b>
7.8	1	0,18			
9.2	1	0,18			
10.2	1	0,18			
11.0	1	0,18			
11.2	1	0,18			
12.2	1	0,18			
17.8	1	0,18			
18.6	1	0,18			
22.4	1	0,18			
<b>Total</b>	<b>559</b>	<b>100</b>			

Tabla nº 6. Valores de los Índices de Intensidad de Precipitación acumulados del período más significativos, ordenados según el volumen de precipitación decreciente (hasta aproximadamente el 50% del total).

Índices de Intensidad de Precipitación									
$I_{10}$					$I_{30}$				
clase (mm)	total (mm)	total acumulado			clase (mm)	total (mm)	total acumulado		
		nº de eventos	precipitación				nº de eventos	precipitación	
			mm	%				mm	%
16,8	184,8	11	184,8	5,70	22,5	45	2	45	4,52
13,2	184,8	25	369,6	11,4	3,2	41,6	15	86,6	8,7
28,8	172,8	31	542,4	16,73	4,2	37,8	24	124,4	12,5
19,2	172,8	40	715,2	22,06	18,6	37,2	26	161,6	16,24
14,4	158,4	51	876,3	26,95	6	36	32	197,6	19,86
12	144	63	1.017,6	31,39	5,6	33,6	38	231,2	23,24
8,4	134,4	79	1.152,0	35,54	5,2	31,2	44	262,4	26,37
10,8	129,6	91	1.281,6	39,54	5	30	50	292,4	29,38
7,2	129,6	109	1.411,2	43,54	4	28	57	320,4	32,19
25,2	126	114	1.537,2	47,41	3,4	27,2	65	347,6	34,92
	1.537,2	50,89%	47,41%		5,4	70	27	374,6	37,63
					3,8	77	26,6	401,2	40,3
					6,6	81	26,4	427,6	42,95
					4,4	87	26,4	454	45,6
					2,6	97	26	480	48,21
					2	110	26	506	50,82
						789,6%	50,00%	87,36%	

Tabla nº 7. Datos cuantitativos y porcentajes por grupo, año hidrológico y eventos de precipitación según el índice  $I_{30}$  mm h<sup>-1</sup>.

Grupo I: $I_{30} > 20$ mm h <sup>-1</sup>							
Nº eventos	Parcela 1		Parcela 2		Parcela 3		AH
	PS	%	PS	%	PS	%	
1	9,96	0,44	6,78	1,82	4,09	1,82	97-98
1							<b>Total</b>
Grupo II: $20$ mm h <sup>-1</sup> > $I_{30}$ > $10$ mm h <sup>-1</sup>							
3	37,98	3,77	28,3	3,77	11,6	3,77	95-96
3	12,3	5,17	12,45	5,17	11,2	5,17	96-97
3	4,33	5,45	3,33	5,45	4,03	5,45	97-98
2	29,02	3,77	3,81	3,77	2,80	3,77	98-99
11							<b>Total</b>
Grupo III: $10$ mm h <sup>-1</sup> > $I_{30}$ > $5$ mm h <sup>-1</sup>							
11	32,1	32,1	31,9	32,1	40,8	32,1	95-96
16	47	27,6	54,5	27,6	53,5	27,6	96-97
17	40,2	30,9	38,1	30,9	37	30,9	97-98
17	32,1	36,1	53,6	36,1	50,6	36,1	98-99
61							<b>Total</b>
Grupo III: $I_{30} < 5$ mm h <sup>-1</sup>							
34	39,9	64,1	39,76	64,1	47,6	64,1	95-96
39	40,9	67,2	33,04	67,2	35,2	67,2	96-97
34	45,5	61,8	51,83	61,8	55	61,8	97-98
34	34,9	64,1	42,56	64,1	46,55	64,1	98-99
141							<b>Total</b>

PS: pérdidas de suelo; AH: año hidrológico

Tabla nº 8. Datos cuantitativos y porcentajes por grupo,  
año hidrológico y eventos de precipitación según el índice  $I_{10}$  mm h<sup>-1</sup>.

Grupo I: $I_{10} > 45$ mm h <sup>-1</sup>							
Nº eventos	Parcela 1		Parcela 2		Parcela 3		AH
	PS	%	PS	%	PS	%	
1	23,42	0,47	22,94	0,47	2,55	0,47	95-96
2	0,73	0,93	0,96	0,93	1,03	0,93	96-97
1	9,96	0,47	6,78	0,47	4,09	0,47	97-98
<b>4</b>		<b>1,86</b>		<b>1,86</b>		<b>1,86</b>	<b>Total</b>
Grupo II: $45$ mm h <sup>-1</sup> > $I_{10}$ > $30$ mm h <sup>-1</sup>							
2	7,12	0,93	5,09	0,93	8	0,93	95-96
1	11,73	0,47	11,85	0,47	10,73	0,47	96-97
4	10,72	1,86	11,55	1,86	9,48	1,86	97-98
3	27,56	1,40	5,79	1,40	3,5	1,40	98-99
<b>10</b>		<b>4,65</b>		<b>4,65</b>		<b>4,65</b>	<b>Total</b>
Grupo III: $30$ mm h <sup>-1</sup> > $I_{10}$ > $15$ mm h <sup>-1</sup>							
18	36,18	8,37	40,75	8,37	52,36	8,37	95-96
16	29,21	7,44	46,06	7,44	41,08	7,44	96-97
14	36,27	6,51	31,58	6,51	34,99	6,51	97-98
21	41,98	9,77	55,08	9,77	56,25	9,77	98-99
<b>69</b>		<b>32,09</b>		<b>32,09</b>		<b>32,09</b>	<b>Total</b>
Grupo IV: $I_{10} < 15$ mm h <sup>-1</sup>							
33	33,26	15,35	31,2	15,35	37,05	15,35	95-96
38	58,31	17,67	41,12	17,67	47,14	17,67	96-97
36	43,04	16,74	50,11	16,74	51,47	16,74	97-98
25	30,05	11,63	39,16	11,63	40,23	11,63	98-99
<b>132</b>		<b>61,40</b>		<b>61,40</b>		<b>61,40</b>	<b>Total</b>

PS: pérdidas de suelo; AH: año hidrológico