

LA PRECIPITACIÓN COMO FACTOR EN LOS PROCESOS HIDROLÓGICOS Y EROSIVOS ANÁLISIS DE DATOS DE CÁCERES CAPITAL

Susanne Schnabel

Departamento de Geografía y O. T. Universidad de Extremadura.
Avenida de la Universidad, s/n. Cáceres. E-mail: sschnab@geot.unex.es

Resumen: Se presenta el análisis de los datos de precipitación de la ciudad de Cáceres, útil para la investigación de los procesos erosivos e hidrológicos. Así, se ha realizado el análisis estadístico de los datos mensuales y anuales de la precipitación y la concentración estacional y temporal de la misma. Los resultados demuestran que la variabilidad de los datos, tanto anuales como mensuales, es muy elevada, mientras que la concentración estacional es solamente moderada. La interpretación de los datos diarios sugiere una irregularidad relativamente marcada. Además se han hecho análisis de frecuencia de las intensidades máximas diarias con duración desigual, incluyendo la distribución mensual. Por última se determina, mediante el método de Gumbel la probabilidad de eventos de baja frecuencia y gran magnitud.

Palabras clave: Erosión de suelos, intensidad de lluvias, períodos de retorno, Mediterráneo.

Abstract: Analysis of rainfall data which is useful for the investigation of erosional and hydrological processes is presented for the city of Cáceres, representative of the lowlands in central western Spain. Besides basic statistical analysis of monthly and annual precipitation data, the seasonal and temporal rainfall concentration is determined. The results demonstrate the high interannual variability of monthly and annual data. Seasonal concentration is only moderate. Interpretation of daily precipitation data suggests a relatively high irregularity. Frequency analysis of daily maximum intensities with varying duration are carried out, including their monthly distribution. Finally the probability of low frequency, high magnitude events is determined using the Gumbel method.

Keywords: Soil erosion, rainfall intensity, recurrence intervals, Mediterranean.

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo presenta los resultados del análisis de los datos de precipitación de la estación meteorológica de Cáceres capital, orientado al estudio de procesos hidrológicos y erosivos. Se ha elegido Cáceres como ejemplo de un espacio, el centro-oeste español, con gran escasez de información relacionada con estos temas. Además, la proximidad geográfica y altitudinal entre Cáceres capital (22 km) y la cuenca experimental Guadalperalón, donde se llevan a cabo estudios sobre erosión del suelo y balances de agua (Gómez Amelia & Schnabel, 1990; Schnabel, 1996; Ceballos, 1997), permite la extrapolación de las características pluviométricas basadas en series de datos largos.

La importancia del factor precipitación en los procesos de erosión ha sido ampliamente descrito (Morgan, 1986), demostrando una gran complejidad de las relaciones existentes. Esto se debe a la existencia de diferentes procesos erosivos. Mientras que la energía cinética de la lluvia es el factor determinante en la erosión por el golpeteo de las gotas (*rainsplash*), la erosión por lavado superficial, en regueros o cárcavas, depende de la generación de escorrentía superficial. Esto significa, por ejemplo, que una precipitación menos erosiva, de baja intensidad, pero larga duración, puede saturar el suelo, producir escorrentía y por tanto provocar mayores tasas de erosión que un evento intenso de corta duración (Richter & Nengendank, 1977).

La relación entre el factor precipitación y pérdida de suelo varía también según las características de la zona considerada, es decir, de los otros factores implicados en la generación de escorrentía y erosión.

La erosividad de la precipitación es la suma de las energías de todas las gotas. El clásico estudio de Laws & Parsons (1943) estableció la relación entre intensidad de lluvia y tamaño de gotas. En base a este estudio se han desarrollado ecuaciones que describen la relación entre energía cinética e intensidad de lluvia (ej. Wischmeier & Smith, 1958; Renard, *et al.*, 1992). Investigaciones llevadas a cabo en Italia (Zanchi & Torri, 1980) y en Portugal (Coutinho & Tomás, 1995) sugieren que la erosividad de la lluvia en el Mediterráneo, expresada como energía cinética específica ($J m^{-2} mm^{-1}$), supera como promedio en un 20% las predicciones basadas en las ecuaciones desarrolladas en los Estados Unidos.

Los estudios de erosión del suelo exigen información sobre la intensidad y duración de eventos y su distribución anual, así como sus probabilidades de ocurrencia. Este tipo de información es igualmente necesario para cuestiones hidrológicas, como es la generación de crecidas extremas.

La precipitación incide también, de manera indirecta, sobre la degradación y erosión de suelos. La cantidad de precipitación determina el crecimiento de

las plantas, es decir influye sobre la cubierta vegetal, que a su vez constituye el factor más importante en los procesos considerados. Bajo clima mediterráneo este aspecto adquiere gran importancia, debido a la estacionalidad e irregularidad de las precipitaciones (López Bermúdez & Albaladejo, 1990).

Este trabajo, basándose en el análisis de datos de la ciudad de Cáceres, abarca los siguientes temas:

- estacionalidad e irregularidad de la precipitación,
- frecuencia y distribución anual de intensidades de duración variable, y
- períodos de retorno de eventos extremos.

2. RESULTADOS

Desde 1907 se dispone de datos de precipitación de la estación meteorológica de Cáceres. No obstante, solamente desde 1980 se dispone de información detallada sobre las intensidades máximas diarias. El análisis utiliza, por tanto, dos bases de datos:

1. Precipitación anual, mensual y cantidades diarias del período 1907-1996 (90 años).
2. Intensidades máximas diarias en 10, 30 y 60 minutos del período 1980-1996 (17 años).

Se consideran años hidrológicos con inicio en el mes de septiembre. En adelante, la mención «1907», por ejemplo, se refiere al año hidrológico 1907-1908.

2.1. Estacionalidad e irregularidad de la precipitación

Datos anuales y mensuales

Los datos de precipitación anual, con una media aritmética de 514,3 mm, muestran una distribución de frecuencias con un sesgo positivo, dando lugar a un mayor número de años con precipitaciones inferiores a la media, y una mediana ligeramente inferior (497,3 mm). La figura 1 presenta la serie anual, junto con los quintiles, que se utilizan para clasificar las cantidades anuales (INM, 1991). La correspondencia entre quintiles y cantidades de precipitación es:

| | |
|---------|------------|
| < 0,2 | Muy seco |
| 0,2-0,4 | Seco |
| 0,4-0,6 | Normal |
| 0,6-0,8 | Húmedo |
| > 0,8 | Muy húmedo |

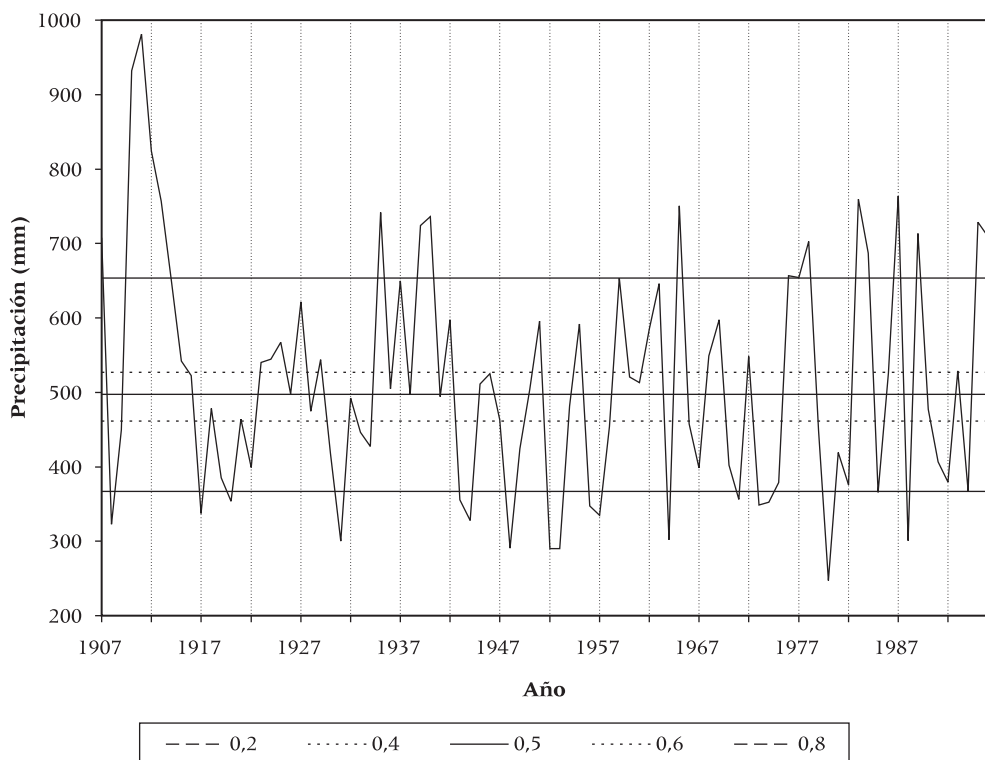


Figura 1: Serie de precipitación anual del Observatorio Meteorológico de Cáceres (1907-08 hasta 1996-97) con los quintiles.

La serie anual refleja la irregularidad del régimen pluviométrico, con una desviación estándar de 155,2 mm y un coeficiente de variación del 30,2%, valor muy parecido a los citados por Raso Nadal (1993) para Badajoz y Sevilla. El coeficiente de variación es superior a los presentados para la Meseta Septentrional, Barcelona, o La Coruña, pero es inferior a estaciones de la costa Mediterránea del sureste, como Valencia, Alicante y Murcia (Raso Nadal, 1993).

Aunque las precipitaciones anuales muestran una ligera tendencia negativa, ésta no es significativa, debido a la existencia de tres años consecutivos con cantidades muy elevadas al principio del registro (1910-1912). Estudios recientes sobre la pluviometría española demuestran una tendencia decreciente en el sur de España, frente a una creciente en el norte entre el siglo XIX y la actualidad (cit. en Martín Vide & Barriandos, 1997), mientras que no se aprecia tendencia significativa alguna en las zonas centrales, como las cuencas del Tajo y Guadiana (Raso Nadal, 1993).

La irregularidad de la precipitación, se refleja en las alternancias de etapas con valores superiores e inferiores de los medios. En base a un análisis de las desviaciones acumuladas de lluvias mensuales de la estación de Cáceres, Schnabel (1997) ha determinado la frecuencia e intensidad de periodos prolongados secos. Este estudio pone de manifiesto la variabilidad de sequías en términos de duración e intensidad, al igual que la inexistencia de un comportamiento cíclico.

La distribución mensual de precipitación presenta un mínimo muy pronunciado durante los meses de julio y agosto (fig. 2, tabla 1). Cantidades máximas registran noviembre y diciembre, seguidos por los meses enero, febrero, marzo y octubre. No obstante, la media aritmética no es el parámetro idóneo para expresar la tendencia central de las precipitaciones mensuales, debido a que poseen una distribución de frecuencias asimétrica (sesgo positivo). Así, las medianas son significativamente más bajas que las medias, destacando los meses de diciembre y octubre (fig. 2). Es llamativo el que la mediana de marzo supere la de diciembre, cuya media aritmética constituye la máxima anual.

Esta asimetría de las distribuciones hace preferible el uso de percentiles frente a la desviación estándar para describir la variabilidad de los datos (tabla 2). Destaca por la gran variabilidad de cantidades mensuales el período de noviembre a marzo (fig. 3). Estos datos ilustran la alta probabilidad de precipitaciones bajas para cualquier mes del año. En el mes de febrero, por ejem-

Tabla 1. Características de la precipitación mensual y anual de la ciudad de Cáceres: media, mediana, desviación estándar (Desv. E.), coeficiente de variación (C. Var.), y coeficiente de asimetría (C. Asim.) ($n = 90$).

| Mes | Media (mm) | Mediana (mm) | Desv. E. (mm) | C. Var. (%) | C. Asim. |
|-----|---------------|-----------------|------------------|----------------|----------|
| Sep | 26,3 | 19,3 | 26,2 | 99,7 | 1,51 |
| Oct | 55,6 | 42,4 | 48,5 | 87,2 | 1,55 |
| Nov | 69,4 | 64,2 | 48,9 | 70,5 | 1,07 |
| Dic | 69,4 | 49,0 | 62,7 | 90,4 | 1,37 |
| Ene | 57,7 | 46,9 | 53,8 | 93,3 | 1,83 |
| Feb | 56,4 | 44,7 | 49,4 | 87,5 | 1,66 |
| Mar | 57,1 | 50,6 | 41,3 | 72,4 | 0,82 |
| Abr | 42,7 | 37,9 | 29,6 | 69,3 | 0,81 |
| May | 43,1 | 36,9 | 32,1 | 74,5 | 1,02 |
| Jun | 25,4 | 16,9 | 25,9 | 102,1 | 1,72 |
| Jul | 4,5 | 1,3 | 6,8 | 150,3 | 1,95 |
| Ago | 6,7 | 0,9 | 11,7 | 174,1 | 2,47 |
| Año | 514,3 | 497,3 | 155,2 | 30,2 | 0,61 |

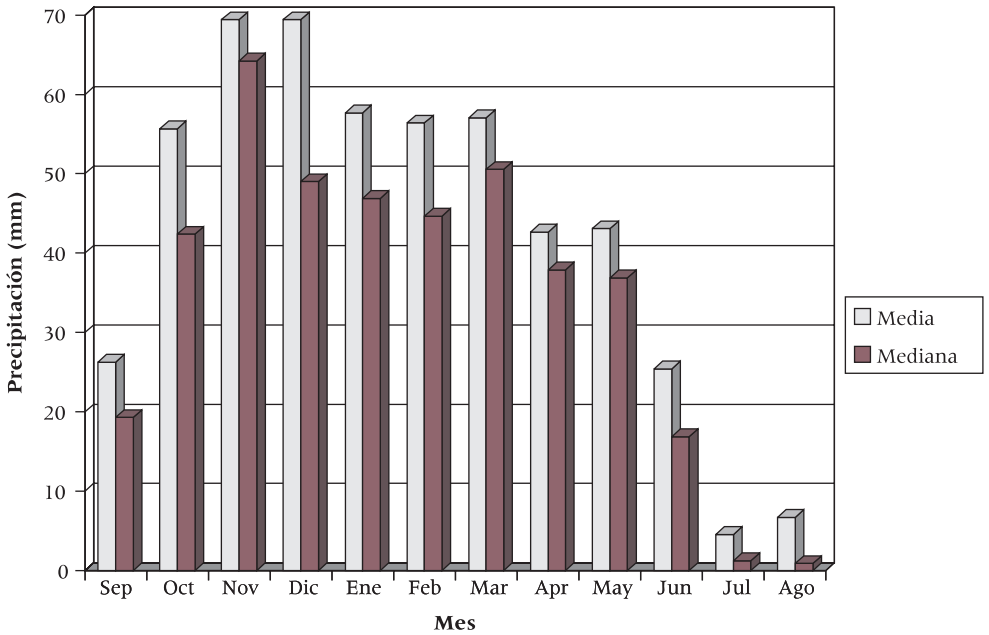


Figura 2: Distribución anual de la media y mediana de las precipitaciones mensuales (Cáceres, $n = 90$).

plo, el 20% de los años registra valores inferiores a 13,2 mm. Desde este punto de vista, noviembre puede considerarse como el mes «más fiable» para registrar cantidades sustanciales de precipitación, debido a que cuenta con el valor

Tabla 2. Quintiles, mínima y máxima de las cantidades mensuales y anuales de precipitación, Observatorio Meteorológico de Cáceres ($n=90$).

| | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | MÍN. | MÁX. |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Sep | 3,8 | 13,3 | 25,2 | 45,1 | 0,0 | 139,1 |
| Oct | 17,6 | 34,7 | 55,0 | 80,5 | 0,0 | 236,3 |
| Nov | 27,8 | 50,4 | 71,3 | 101,2 | 0,0 | 242,1 |
| Dic | 22,1 | 33,7 | 63,7 | 117,5 | 0,0 | 283,8 |
| Ene | 18,2 | 35,0 | 52,0 | 95,7 | 0,0 | 268,2 |
| Feb | 13,2 | 31,1 | 58,8 | 89,8 | 0,0 | 294,0 |
| Mar | 20,8 | 42,6 | 61,5 | 87,2 | 0,0 | 172,6 |
| Apr | 17,2 | 28,0 | 44,6 | 68,3 | 0,0 | 148,5 |
| May | 14,3 | 27,9 | 46,9 | 65,0 | 0,0 | 157,0 |
| Jun | 5,0 | 13,1 | 24,3 | 40,0 | 0,0 | 132,0 |
| Jul | 0,0 | 0,3 | 2,7 | 8,7 | 0,0 | 30,3 |
| Ago | 0,0 | 0,3 | 3,0 | 12,1 | 0,0 | 60,4 |
| Año | 367,0 | 461,2 | 527,0 | 653,8 | 247,2 | 980,9 |

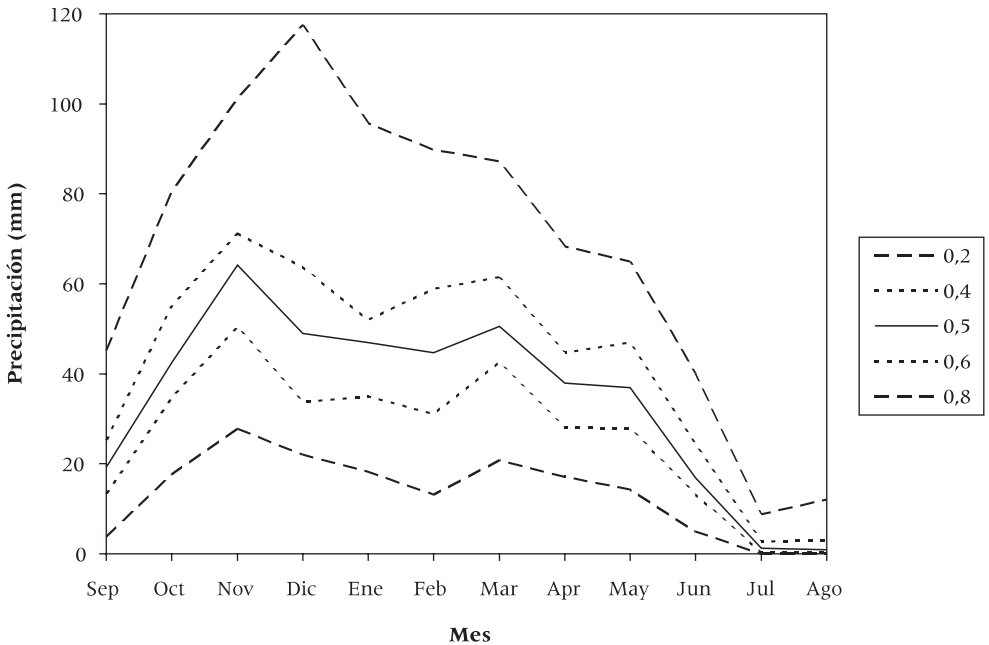


Figura 3: Cantidades de precipitación mensual correspondientes a los percentiles 0,20,40,50,6 y 0,8.

máximo de las medianas y de los quintiles 0,2 y 0,4 (fig. 3). Diciembre registra las cantidades más altas, superando 117,5 mm de lluvia en el 20% de los años.

Para describir la distribución de las precipitaciones mensuales se ha utilizado el Índice de Concentración de Precipitación (PCI) propuesto por Oliver (1980), y aplicado por Michiels *et al.* (1992) para 40 estaciones españolas situadas en un transecto norte-sur, a lo largo de latitud oeste

$$PCI = 100 \times \frac{\sum p_i^2}{(\sum p_i)^2}$$

donde p_i es la precipitación para cada mes del año. Los límites teóricos del índice se obtienen de la siguiente manera: Si la precipitación es la misma en todos los meses el índice es igual a 8,3, y si el total de precipitación anual se concentra en un mes, PCI es igual a 100. Hay dos procedimientos para determinar el PCI: Para el primero se utilizan las medias aritméticas, reflejando así la concentración estacional de la precipitación (PCI-1). El segundo procedimiento consiste en calcular el Índice de Concentración para cada año individual de la serie de datos. Después se calcula el promedio de los índices anuales, obteniendo el denominado PCI-2, que refleja la media de la concentración temporal de años individuales.

Los resultados correspondientes al Observatorio Meteorológico de Cáceres para PCI(1) y PCI(2) son 10,4 y 16,1, respectivamente. Usando la clasificación propuesta por Oliver (1980), estos valores corresponden a una concentración estacional moderada y una concentración temporal concentrada (tabla 3), siendo muy similares a aquellos determinados por Michiels *et al.* (1992) para estaciones españolas situadas en la misma latitud e inferiores a las de la costa sur de España. Los índices demuestran que la concentración de la precipitación se debe más a la irregularidad interanual que a la distribución estacional, indicando la vulnerabilidad de nuestra área frente a períodos de sequía.

Tabla 3. Clasificación del Índice de Concentración de la Precipitación (Oliver, 1980).

| Índice de Concentración | PCI(1) | PCI(2) |
|-------------------------|--------------------------|---------------------------|
| < 10 | uniforme | uniforme |
| 10-15 | moderadamente estacional | moderadamente concentrada |
| 15-20 | estacional | concentrada |
| > 20 | fuertemente estacional | fuertemente concentrada |

2.2. La intensidad de las lluvias

Cantidades diarias

Como promedio se registran 85,8 días de precipitación igual o superior a 0,1 mm (cantidades inapreciables no consideradas). Para estudiar la irregularidad de la precipitación diaria se ha relacionado el número acumulado de días de precipitación con las correspondientes cantidades acumuladas (Martín Vide, 1989). Para este análisis solamente se ha dispuesto de los datos correspondientes al período 1980-1996, que registró un número de días de lluvia inferior a la serie completa (79,8). La problemática de usar series de datos con diferente tamaño es tratada más adelante.

El resultado es una curva exponencial cuyo grado de separación de la línea de equidistribución expresa la irregularidad (fig. 4). El 50% de los días de lluvia produce solamente el 8,9% de la cantidad anual, y el 75% de los días el 30,9%. Esto significa que el 25% de los restantes días lluviosos son responsables de un 69,1% de la cantidad anual. Como promedio, 8 días al año (10%) producen el 41,1% del total. Estos resultados demuestran una alta irregularidad de la precipitación diaria, que es ligeramente inferior a la citada para la costa mediterránea española por Martín Vide (1989).

El 35,7% de la precipitación anual corresponde a precipitaciones inferiores a 10 mm y un 47,6% del total a las comprendidas entre 10 y 30 mm.

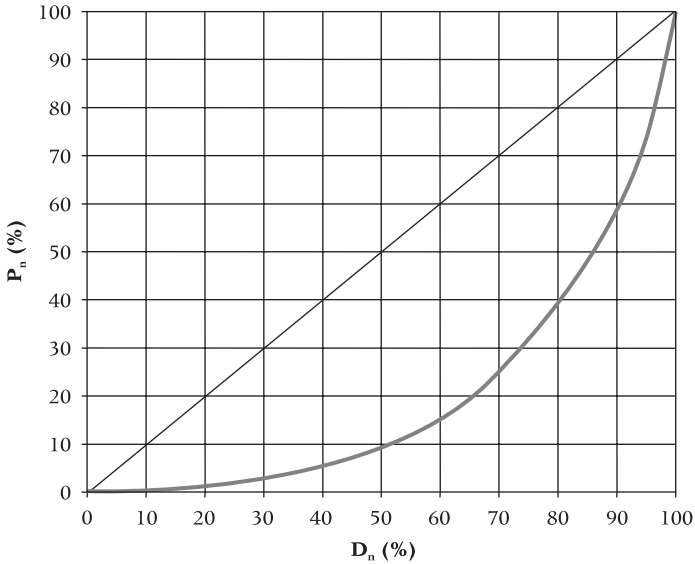


Figura 4: Relación entre la cantidad acumulada de precipitación diaria (P_n , %) y el número acumulado de días de precipitación (D_n , %).

Precipitaciones de baja cantidad (< 10 mm) son las más frecuentes (80,8%), contrastando con la baja frecuencia (1,7%) de lluvias con cantidades elevadas (> 30 mm) (tabla 4). Las lluvias que superan los 50 mm por día pueden esperarse, como promedio, una vez cada 3,4 años.

Tabla 4. Distribución media anual de las frecuencias de precipitación diaria de cantidad variable (1907 a 1996) (F-Rel = frecuencia relativa).

| Mes | 0,1-1 | 1-10 | 10-30 | 30-50 | > 50 | Suma |
|-----------|-------|-------|-------|-------|------|--------|
| Sep | 1,03 | 2,62 | 0,74 | 0,04 | 0,02 | 4,47 |
| Oct | 1,51 | 4,69 | 1,89 | 0,09 | 0,03 | 8,21 |
| Nov | 1,76 | 5,59 | 2,00 | 0,24 | 0,08 | 9,67 |
| Dic | 2,62 | 5,72 | 2,11 | 0,21 | 0,02 | 10,69 |
| Ene | 2,52 | 5,81 | 1,60 | 0,13 | 0,03 | 10,10 |
| Feb | 1,88 | 5,41 | 1,76 | 0,17 | 0,00 | 9,21 |
| Mar | 2,11 | 6,16 | 1,60 | 0,12 | 0,01 | 10,00 |
| Abr | 2,13 | 4,92 | 1,34 | 0,03 | 0,00 | 8,43 |
| May | 1,82 | 4,83 | 1,10 | 0,07 | 0,02 | 7,84 |
| Jun | 1,11 | 2,64 | 0,64 | 0,09 | 0,02 | 4,51 |
| Jul | 0,41 | 0,84 | 0,09 | 0,00 | 0,00 | 1,34 |
| Ago | 0,50 | 0,68 | 0,13 | 0,02 | 0,01 | 1,34 |
| Año | 19,41 | 49,92 | 15,01 | 1,22 | 0,26 | 85,82 |
| F-Rel (%) | 22,62 | 58,17 | 17,49 | 1,42 | 0,30 | 100,00 |

Intensidades

La mayoría de los eventos se caracteriza por intensidades bajas. Así, el 91,2% registra intensidades máximas en 10 minutos (I-10) inferiores a 20 mm/h. Intensidades moderadas (20-40 mm/h) poseen una frecuencia media del 6,3% y intensidades altas (> 40 mm/h) representan solamente el 2,6%, que equivale a 2,1 eventos al año.

Intensidades máximas de mayor duración (30 y 60 minutos) poseen generalmente valores inferiores a los correspondientes a I-10. Así, el 95,7% de los días de lluvia registra máximas en 60 minutos (I-60) inferiores a 10 mm/h. Las I-60 más altas tienen valores comprendidos entre 20 y 30 mm/h con una frecuencia media del 0,4%.

Distribución anual

Las figuras 5 y 6 representan la distribución anual de I-10 superiores a 30 mm/h y de I-60 superiores a 10 mm/h, expresadas en frecuencias absolutas. Las dos distribuciones son relativamente similares, destacando la ausencia de intensidades altas en los meses de febrero y marzo, y bajas frecuencias en abril y julio. Intensidades altas de corta duración (I-10) son más frecuentes en mayo, seguidas por diciembre, setiembre, junio y agosto. Valores altos de

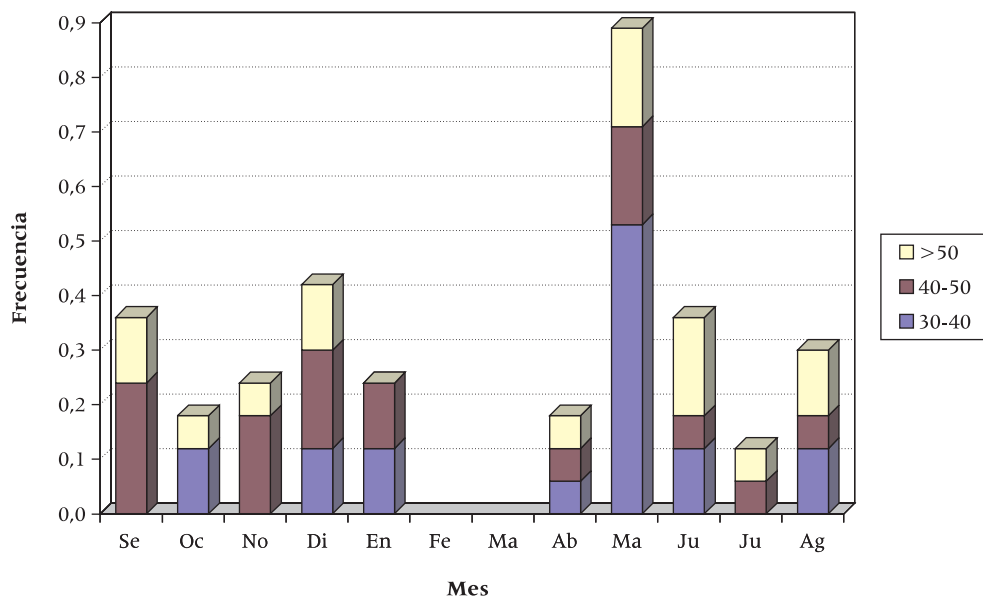


Figura 5: Distribución anual de las intensidades máximas en 10 minutos superiores a 30 mm/h (años 1980 a 1996).

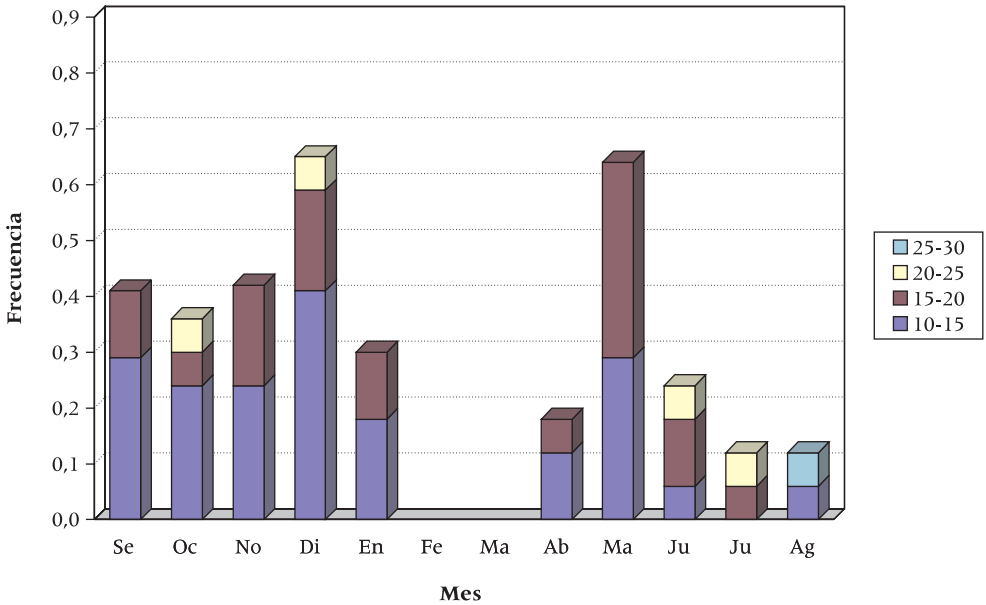


Figura 6: Distribución anual de las intensidades máximas en 60 minutos superiores a 10 mm/h (años 1980 a 1996).

I-60 se observan más durante los meses de diciembre y mayo, seguidas por noviembre, setiembre y octubre.

Aunque se pueden esperar precipitaciones intensas en cualquier mes del año, excepto febrero y marzo, su ocurrencia es más probable durante aquellas épocas del año en que la cubierta herbácea se encuentra en un estado desarrollado (diciembre y mayo).

La distribución anual de las cantidades diarias altas (> 30 mm) es distinta a las de intensidades (fig. 7). En este caso, la máxima corresponde al mes de noviembre, seguida por los meses de diciembre, enero y febrero. Frecuencias bajas se observan en julio, abril y agosto.

Consideraciones sobre los períodos de observación.

La figura 8 presenta la distribución anual de las cantidades diarias que exceden los 30 mm, pertenecientes a la serie de datos completa (1907-1996), así como a los del período de 1980 hasta 1996. Este último corresponde al período de 17 años en que se dispone de intensidades. La diferencia entre ambas distribuciones es notable, destacando una mayor frecuencia de cantidades altas durante los meses noviembre, diciembre y enero. Solamente durante febrero y marzo el período de 1980-1996 ha registrado un número

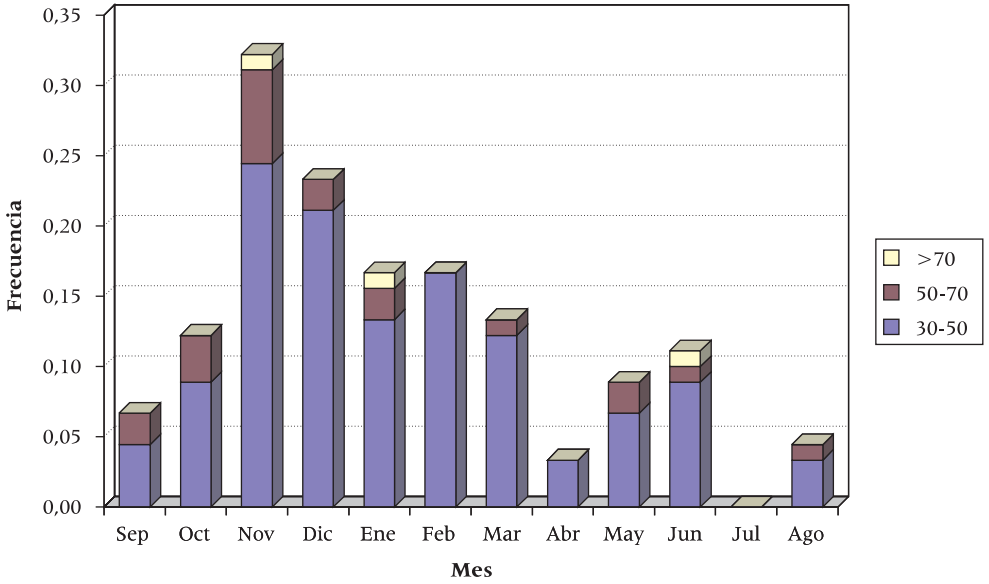


Figura 7: Distribución anual de las precipitaciones diarias superiores a 30 mm (años 1907 a 1996).

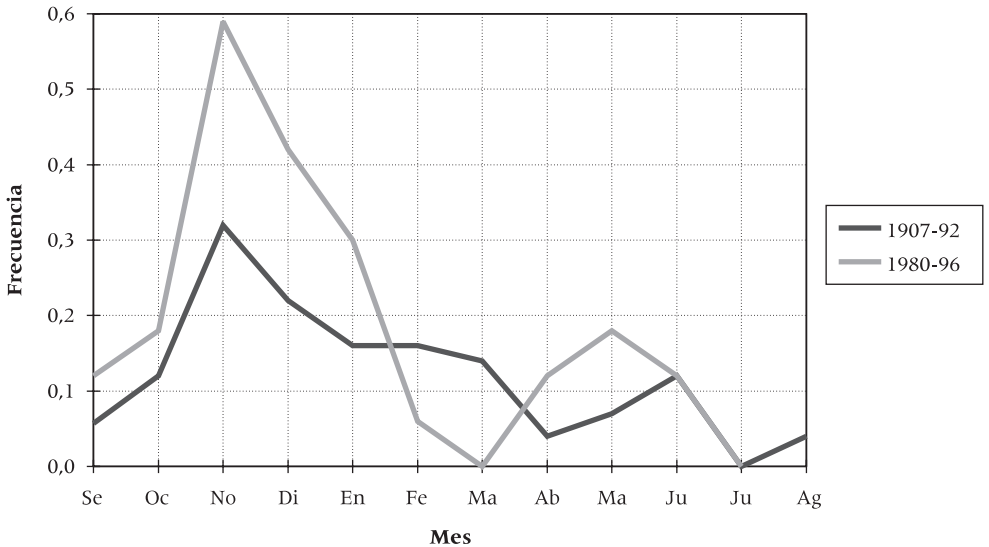


Figura 8: Distribución anual de las precipitaciones diarias superiores a 30 mm. Comparación entre dos períodos de registro distintos.

inferior de cantidades elevadas que la serie completa. No obstante, la distribución anual es relativamente similar.

Este hecho indica que los resultados relacionados con las intensidades de precipitación, presentados arriba, podrían ser considerablemente distintos que el promedio de períodos de observación largos (longterm mean). La problemática de usar muestras pequeñas en áreas de variabilidad alta de precipitación se manifiesta también en una comparación, cuyos resultados se presentan en la tabla 5. Se comparan dos períodos: I: 1907-1992 y II: 1980-1996.

La precipitación media anual es muy similar, pero con un número inferior de días de lluvia. La frecuencia relativa de cantidades altas de precipitación diaria ha sido superior durante el período II que durante el período I, con 2,60% y 1,72%, respectivamente.

Las precipitaciones mensuales difieren notablemente. Durante los últimos 17 años se han registrado cantidades muy inferiores en marzo, con una media aritmética de 26,2 mm frente a 58,8 mm durante I. Cantidades menores corresponden también a febrero y octubre. Incrementos de lluvia los registraron sobre todo los meses de noviembre, diciembre y enero.

Tabla 5. Comparación de datos pluviométricos pertenecientes a dos períodos de observación ($F(x) > 30$ mm corresponde a la frecuencia relativa (%) de precipitación diaria superior a 30 mm).

| Variable | 1907-1992 | 1980-1996 |
|----------------------------|-----------|-----------|
| N | 86 | 17 |
| Media | 511,1 | 515,0 |
| Núm. días de precipitación | 85,5 | 79,8 |
| $F(x) > 30$ mm | 1,45 | 2,15 |
| Septiembre | 25,4 | 26,6 |
| Octubre | 54,2 | 51,6 |
| Noviembre | 68,4 | 85,2 |
| Diciembre | 66,8 | 83,3 |
| Enero | 55,4 | 64,4 |
| Febrero | 57,1 | 40,2 |
| Marzo | 58,8 | 26,2 |
| Abril | 43,4 | 50,1 |
| Mayo | 41,4 | 51,5 |
| Junio | 25,9 | 21,3 |
| Julio | 4,3 | 7,6 |
| Agosto | 6,4 | 7,2 |

Análisis de valores extremos

Para estimar los períodos de retorno de precipitaciones con intensidades elevadas se ha utilizado la función de distribución de probabilidad de Valor Extremo Tipo I, conocida también como la distribución de Gumbel (Chow *et al.*, 1987). La frecuencia de cantidades de precipitación inferiores a (x) es:

$$F(x) = \exp(-e^{-a(x-b)})$$

y la probabilidad P(x) que la precipitación es igual o excede este valor es:

$$P(x) = 1 - F(x)$$

El período de retorno se calcula como:

$$RI = \frac{1}{P(x)}$$

Las intensidades obtenidas para diferentes períodos de retorno y duración variable se reflejan en la tabla 6. Se han calculado también los intervalos de confianza de 95% correspondientes. Los valores obtenidos para Cáceres confirman la baja intensidad de las precipitaciones en comparación con estaciones situadas en la costa Mediterránea (tabla 7). No obstante, se puede afirmar la existencia de intensidades elevadas, aunque ocurren con menor frecuencia que en el área mediterránea, *sensu stricto*. Es decir, se registran cantidades e intensidades lo suficientemente altas para provocar pérdidas de suelo elevadas (Morgan, 1986).

Tabla 6. Intensidades máximas de precipitación para diferentes períodos de retorno (Xn) y duraciones (10, 30, 60 minutos, y 24 horas) de Cáceres capital. En paréntesis valores del intervalo (+/-) de confianza de 95%.

| | 10 min (mm/h) | 30 min (mm/h) | 60 min (mm/h) | 24 horas (mm) |
|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| X2 | 48,8 (4,5) | 26,6 (2,9) | 16,2 (1,9) | 37,6 (3,1) |
| X5 | 62,8 (7,5) | 35,7 (4,9) | 22,0 (3,1) | 52,0 (5,3) |
| X10 | 72,0 (10,1) | 41,8 (6,7) | 25,8 (4,2) | 61,6 (7,1) |
| X20 | 80,9 (12,8) | 47,7 (8,4) | 29,5 (5,3) | 70,8 (9,0) |
| X50 | 92,8 (16,5) | 55,5 (10,8) | 34,4 (6,8) | 83,1 (11,6) |
| X100 | 101,3 (19,1) | 61,0 (12,6) | 37,9 (7,9) | 91,9 (13,4) |
| N | 41 | 41 | 41 | 89 |
| Media | 51,4 | 28,2 | 17,2 | 40,2 |
| Mediana | 52,8 | 28,0 | 16,0 | 35,6 |
| Mínima | 21,6 | 9,4 | 7,7 | 16,8 |
| Máxima | 84,0 | 51,6 | 36,5 | 107,1 |

Tabla 7. Intensidades máximas en 30 minutos (mm/h) para diferentes períodos de retorno (RI) de algunas localidades españolas, según ELÍAS CASTILLO & RUIZ BELTRÁN, 1979 (datos de Cáceres de estimaciones propias).

| RI (años) | 5 | 10 | 50 | 100 |
|--------------------|------|------|-------|-------|
| Cáceres (a) | 35,7 | 41,8 | 55,5 | 61,0 |
| Barcelona | 69,2 | 84,4 | 117,6 | 131,8 |
| Valencia | 53,6 | 76,6 | 133,0 | 149,4 |
| Alicante | 58,6 | 72,0 | 101,6 | 112,4 |
| Almería | 44,4 | 56,0 | 81,6 | 92,4 |
| La Coruña | 34,0 | 40,8 | 56,0 | 62,6 |

La tabla 8 compara las estimaciones propias con las elaboradas por Elías & Ruiz (1979), un notable trabajo, que ha sido citado frecuentemente por autores españoles. No obstante, debido a su antigüedad, se ha hecho con una base de datos muy limitada. Para la estación de Cáceres solamente han sido disponibles 24 y 30 años, en el caso de las máximas en 10 minutos y las cantidades máximas diarias, respectivamente.

Las máximas diarias presentadas por Elías y Ruiz son superiores a las estimaciones basadas en la serie de datos larga (89 años). Esta diferencia se debe a 2 valores de cantidades excepcionales (*outliers*). Debido a la gran variabilidad de la pluviometría en el ámbito mediterráneo, sería útil poder disponer de trabajos como el de Elías y Ruiz (1979), elaborados con bases de datos más amplias.

Tabla 8. Comparación de las intensidades máximas en 10 minutos y 24 horas según el método de Gumbel para dos períodos de observación (ELÍAS CASTILLO & RUIZ BELTRÁN, 1979).

| | RI (años) | Elías & Ruiz | Autor |
|-----------------------|-----------|--------------|-------|
| 10 min. (mm/h) | 5 | 59,4 | 62,8 |
| | 10 | 69,6 | 72,0 |
| | 20 | 79,2 | 80,9 |
| | 50 | 91,2 | 92,8 |
| | 100 | 100,8 | 101,3 |
| N | | 24 | 41 |
| 24 horas (mm) | 5 | 58,0 | 52,0 |
| | 10 | 72,1 | 61,6 |

Tabla 8. (Continuación)

| | | | |
|---|-----|-------|------|
| | 20 | 85,6 | 70,8 |
| | 50 | 103,1 | 83,1 |
| | 100 | 116,0 | 91,9 |
| N | | 30 | 89 |

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, en el marco del proyecto AMB95/0986-C02-02, y apoyado por la Junta de Extremadura, Dirección General de Enseñanzas Universitarias e Investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ceballos, A.** (1997): *Balace de agua de una cuenca hidrográfrica bajo explotación de dehesa en Extremadura*. Tesis doctoral, Universidad de Extremadura, inédita.
- Chow, V.T.** (1987): *Applied Hydrology*. Versión española, D'Vinni Editorial, Ltda., Santa Fe de Bogotá.
- Coutinho, M.A. & Tomás, P.** (1995): Characterisation of raindrop size distributions at the Vale Formoso Experimental Erosion Centre. *Catena*, 25: 187-197.
- Elías Castillo, f. & Ruiz Beltrán, L.** (1979): *Precipitaciones máximas en España. Estimaciones basadas en métodos estadísticos..* Monografías, 21. ICONA, Madrid.
- Gómez Amelia, D. & Schnabel, S.** (1992): Procesos sedimentológicos e hidrológicos en una pequeña cuenca bajo explotación de dehesa en Extremadura. En López Bermúdez, F., Conesa García, C. & Romero Díaz, M.A. (eds.): *Estudios de geomorfología en España*, S.E.G., Murcia, pp. 55-63.
- Laws, J.O. & Parsons, D.A.** (1943): The relationship of raindrop size to intensity. *Transactions of the American Geophysical Union*, 22: 119-126.
- INM (Instituto Nacional de Meteorología)** (1991): *Calendario Meteorológico 1992*. Madrid.
- López Bermúdez, F. & Albaladejo, J.** (1990): Factores ambientales de la degradación del suelo en el área mediterránea. En Albadalejo, J., Stocking, M.A. & Díaz, E.: *Degradación y regeneración del suelo en condiciones ambientales mediterráneas*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid.
- Martín Vide, J.** (1989): Precipitaciones torrenciales en España. *Norba Revista de Geografía*, 6-7: 63-79.
- Martín Vide, J. & Barriendos, M.** (1997): Paleometeorología: aportaciones al conocimiento de los cambios pluviométricos durante el último milenio en la Península Ibérica. En: Ibáñez, J. J. (Eds.), *El paisaje mediterráneo a través del espacio y del tiempo. Implicaciones en la desertificación*. Geofoma Ediciones, Logroño.
- Michiels, P., Gabriels, D. & Hartmann, R.** (1992): Using the seasonal and temporal precipitation concentration index for characterizing monthly rainfall distribution in Spain. *Catena*, 19: 43-58.
- Morgan, R.P.C.** (1986): *Soil Erosion & Conservation*. Longman, Essex.
- Oliver, J.E.** (1980): Monthly precipitation distribution: A comparative index. *Professional Geographer*, 32, 1: 300-309.
- Raso Nadal, J.M.** (1993): Evolución de las precipitaciones anuales en España desde 1870. *Notes de Geografía Física*, 22: 5-24.
- Renard, K.G., Foster, G., Weesies, G.A. & Porter, J.P.** (1992): RUSLE: revised universal soil loss equation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 46: 30-33.
- Richter, G. & Negendank, J.F.W.** (1977): Soil erosion processes and their measurement in the German area of the Moselle river. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2: 261-278.

- Schnabel, S.** (1996): *Untersuchungen zur räumlichen und zeitlichen Variabilität hydrologischer und erosiver Prozesse in einem kleinen Einzugsgebiet mit silvo-pastoraler Landnutzung (Extremadura, Spanien)*. Berliner Geographische Abhandlungen, 62, Institut für Geographische Wissenschaften der Freien Universität Berlin, 130 pp.
- Schnabel, S.** (1997): *Soil Erosion and Runoff Production in a Small Watershed under Silvo-pastoral Landuse (Dehesas) in Extremadura, Spain*. Geoforma Ediciones., Logroño.
- Wischmeier, W.H. & Smith, D.D.** (1958): Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Transactions of the American Geophysical Union*, 39: 285-291.
- Zanchi, C. & Torri, D.** (1980): Evaluation of rainfall energy in central Italy. En De Boodt, M. & Gabriels, D. (Eds.): *Assessment of Erosion*. Wiley, Chichester, pp. 133-142.