

## VARIACIÓN ESPACIAL DE LAS PRECIPITACIONES EN UNA PEQUEÑA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL SUROESTE DE ESPAÑA

**Alberto Alfonso-Torreño y Susanne Schnabel**

Instituto INTERRA, Grupo de Investigación GeoAmbiental,  
Departamento de Arte y Ciencias del Territorio, Universidad de Extremadura  
albertoalfonso@unex.es

**Resumen:** La variación espacial es una característica identificadora de la pluviometría peninsular, pero se desconoce para cuencas pequeñas y sobre todo a escala temporal de episodios de lluvia. El objetivo es analizar la variación espacial de las precipitaciones a diferentes escalas temporales en una pequeña cuenca hidrográfica. Los análisis incluyen el cálculo de las precipitaciones medias de la cuenca utilizando el método de la media aritmética y el de los Polígonos de Thiessen. En el estudio de la variabilidad espacial de las precipitaciones a escala de evento se establecieron seis grupos en función de las cantidades diarias y de las intensidades como criterios. Los principales resultados muestran que los pluviómetros ubicados en las zonas más altas, registraron mayores precipitaciones, donde la orientación del relieve y la exposición a los vientos repercuten en la variabilidad espacial. En cuanto a los episodios de precipitación, aquellos con mayores intensidades presentan una mayor variabilidad espacial.

**Palabras clave:** variabilidad espacial, eventos de precipitación, intensidad de lluvia, pequeña cuenca.

**Abstract:** Spatial variability is an identifying feature of the pluviometry of the Iberian Peninsula, but little is known for small catchment and especially for the temporal scale of rain episodes. The aim is to describe and analyze the spatial rainfall variability at different time scales in a small catchment. Analyzes include the calculation of mean rainfall in the basin using the arithmetic mean and Thiessen Polygons. In the study of the spa-

tial variability at event scale, six groups were established based on daily rainfall and intensities as criteria. The main results show that rain gauges located in the upper part of the catchment, recorded higher rainfall. Rainfall events with higher intensities present greater spatial variability, where the relief orientation and exposure to prevailing winds affect the spatial variability. Regarding episodes of precipitation, events with higher intensities show a greater spatial variability.

**Keywords:** spatial variability, rainfall events, rainfall intensity, small catchment.

## 1. Introducción

En la investigación sobre el clima, uno de los temas que mayor interés suscita es su variabilidad, tanto espacial como temporal. El comportamiento interanual de las precipitaciones, sus tendencias, su variabilidad pasada y futura, así como las diferencias espaciales de estos cambios, representan algunos de los procesos más estudiados por las ciencias del clima (González-Hidalgo *et al.*, 2009; Ceballos Barbancho, 2013; Casanueva *et al.*, 2014). Predecir cómo cambiaría la variabilidad o hacer previsiones si la variabilidad es elevada no es tarea fácil, por sus condiciones cambiantes en el tiempo y en el espacio. Sin embargo, se requiere conocer su comportamiento, primero indagando su origen y sus causas naturales, para luego llegar a entender la influencia de las actividades antrópicas (Cortés Cortés, 2010).

Además, la variabilidad es una propiedad intrínseca del sistema climático y aparece, a gran escala, con la circulación general atmosférica. En la Península Ibérica, debido a su posición específica entre dos mares, y en la zona fronteriza entre áreas dominadas por anticiclones subtropicales en el sur, y vientos del oeste y tormentas de frente polar al norte (Martin-Vide y Olcina Cantos, 2001), la variable con mayor dispersión es la precipitación, tanto en las cantidades acumuladas como en la distribución temporal de las mismas (Meseguer-Ruiz *et al.*, 2017). Por ejemplo, según Delitala *et al.* (2000), la persistencia del bloqueo anticiclónico es la condición general que provoca la ausencia de precipitación en la región del Mediterráneo Occidental. En esta área, Maheras y Kolyva-Machera (1990) indican que los períodos húmedos están relacionados con las advecciones del norte, mientras que los períodos secos están relacionados con la circulación zonal del anticiclón de las Azores. Varios trabajos han indicado que la variabilidad interanual de precipitación y la ocurrencia de sequía en España están relacionadas con los cambios en la Oscilación del Atlántico Norte (del inglés, NAO) y del Mediterráneo Occidental (del inglés, WeMO) (Von Storch *et al.*, 1993; Rodríguez-Puebla *et al.*, 1998; Martín-Vide y Fernández, 2001).

Las precipitaciones en los países mediterráneos se caracterizan por su elevada variabilidad, tanto estacional como interanual. En un contexto general de «cambio climático», donde el incremento inequívoco de las temperaturas contrasta con la multidireccionalidad de las precipitaciones, es lógico pensar que el aumento de energía en el sistema atmosférico, inducido por el calentamiento antrópico, repercuta en un incremento de esta variabilidad con la ocurrencia de precipitaciones más intensas e irregulares (Ceballos Barbancho *et al.*, 2013).

Por otro lado, la influencia de los factores fisiográficos locales, tales como la topografía y la costa, por lo general afectan al carácter espacial de las precipitaciones (Emanuel y Sanders, 1983). Además, la altitud, la orientación y los efectos locales del viento influyen en la variabilidad espacial de las precipitaciones en las regiones montañosas (Berndtsson y Niemczynowicz, 1988).

La variabilidad climática, definida como las fluctuaciones observadas en el clima durante periodos de tiempo relativamente cortos y la variación espacial (Pabón, 1997), es un tema en el cuál han venido desarrollándose gran cantidad de estudios, gracias a la obtención de más y mejores registros de variables climatológicas a lo largo del tiempo, y a la disponibilidad de herramientas matemáticas y computacionales para el análisis de grandes bases de datos meteorológicas. Sin embargo, Vicente Serrano *et al.* (2014) señalan que no son tantas las investigaciones sobre aspectos hidroclimáticos aplicados desde múltiples escalas espaciales y temporales, siendo éstos de gran interés dado la irregularidad atmosférica de diversos caracteres, determinando que el agua escasee durante largos periodos y generando enérgicas escorrentías tras precipitaciones intensas. Los fenómenos naturales extremos (sequía e inundaciones) se producen principalmente en regiones de clima árido y semiárido, donde según Berndtsson y Niemczynowicz (1986) se suceden las mayores variaciones temporales y espaciales de precipitaciones.

Ligado a pequeñas cuencas, es interesante conocer la variación espacial de las precipitaciones. La variabilidad espacial y temporal del clima repercute en el ciclo hidrológico. Las precipitaciones son esenciales porque constituyen la entrada de agua al sistema. Se trata de un aspecto fundamental para el desarrollo de la vegetación, particularmente para pastizales de clima semiárido y subhúmedo seco, como es el caso de las dehesas en el oeste de la Península Ibérica, objeto de este estudio.

En áreas de clima seco, incluyendo el clima Mediterráneo, el carácter pluviométrico de un año no puede ser definido exclusivamente por la cantidad total, sino hay que considerar también las precipitaciones mensuales e, incluso, las diarias. Además, la variación espacial es una característica identificadora de la pluviometría peninsular (Martin Vide, 1996), pero se desconoce para cuencas pequeñas y sobre todo a escalas de episodios de lluvia (eventos).

Históricamente, se ha dado por supuesto que la distribución espacial de las precipitaciones sobre pequeños territorios es homogénea, utilizándose el registro de un sólo

pluviómetro para caracterizar las precipitaciones de un determinado espacio (Patrick and Stephenson, 1990). Sin embargo, estudios como el de Goodrich (1990), Goodrich *et al.* (1995), Faurès *et al.* (1995) y, Vischel y Lebel (2007), señalan una notable variación de las precipitaciones en pequeñas cuencas. Es necesario conocer la variación espacial de las precipitaciones en pequeñas áreas para análisis hidrológicos (generación de escorrentía en laderas y cauces, por ejemplo), para estudios de procesos erosivos y para modelizar, donde es inapelable contar con una óptima entrada de datos. Por tanto, se requiere la instalación de instrumentos de medición, tantos como sean necesarios, y no utilizar solamente los datos pluviométricos de la red nacional para estimar las precipitaciones de amplios territorios. Según Berndtsson y Niemczynowicz (1986), la correlación entre las estaciones disminuye gradualmente con la distancia. Una alta correlación se mantiene hasta aproximadamente 2.000-3.000 m. Las tormentas de una hora de duración, sin embargo, muestran una muy baja correlación entre estaciones. Por lo general la estructura de correlación no es isotrópica, como señalan Sharon (1974), Tase (1976), Ceballos Barbancho y Schnabel (1998), y Schellart *et al.* (2012).

El objetivo principal de este trabajo es describir, analizar e interpretar la variación espacial de las precipitaciones en una pequeña cuenca a diferentes escalas temporales. El estudio se llevó a cabo en la cuenca experimental Parapuños, representativa del ecosistema de dehesa en la provincia de Cáceres. Los objetivos específicos incluyen:

- Depurar los datos y rellenar las lagunas de los registros diarios de lluvia.
- Determinar las precipitaciones medias de la cuenca, comparando el método de Thiessen con el de la media aritmética.
- Estudiar la variación espacial para distintos periodos de tiempo: mensual, diaria y a escala de eventos de precipitación, así como las intensidades máximas para varios intervalos (60, 30, 10 y 5 minutos).

## 2. Material y métodos

### 2.1. Área de estudio

La cuenca experimental de Parapuños se localiza en la provincia de Cáceres (Extremadura), al oeste de la Península Ibérica (figura 1). Tiene una superficie de 99,5 ha y se sitúa sobre la superficie general de erosión en la zona Centroibérica del Macizo Hespérico.

La cuenca posee un perímetro de 5690 m y una elevación media de 396 m sobre el nivel del mar. La anchura máxima de la cuenca está en torno a los 900 m y la longitud máxima se acerca a los 1.500 m. Las altitudes máximas superan los 430 m y se dan en la parte norte de la cuenca y en el SE de la misma, mientras que la mínima, con

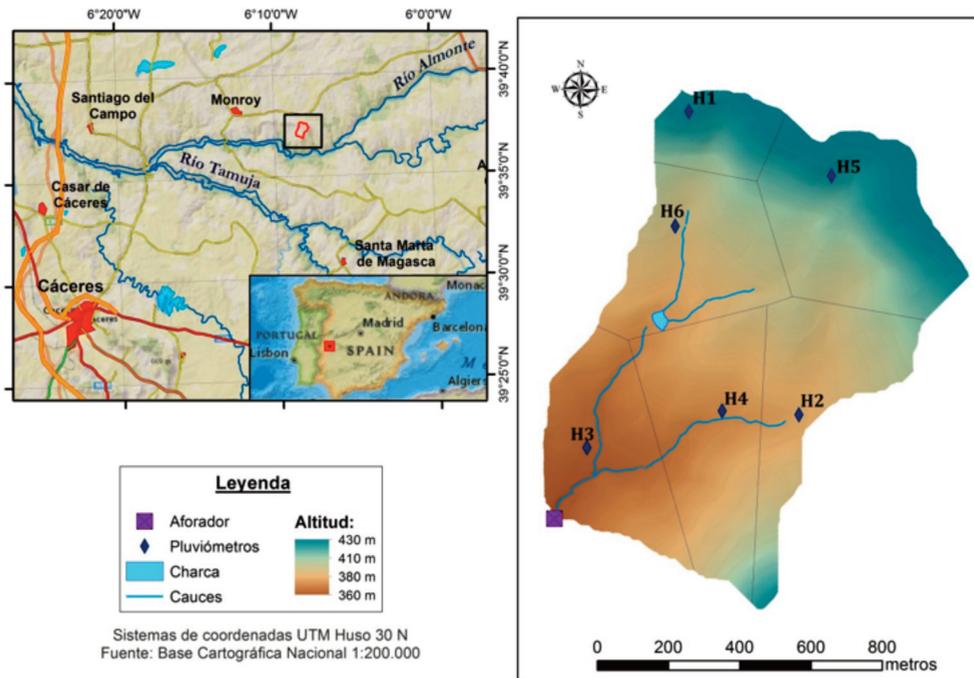


Figura 1. Situación geográfica, altimetría, localización del instrumental y polígonos Thiessen de la cuenca experimental de Parapuños.

363 msnm, coincide con la salida de la cuenca. La orientación media es S-SO, con las zonas más elevadas en el N y E y las zonas con menores elevaciones en el SO.

La pendiente media es de 7,6%, variando entre 0% en los fondos de vaguada hasta 12% en las laderas. También en la figura 1 se muestra la altimetría de la cuenca donde se aprecia su relieve. Se pueden diferenciar tres unidades geomorfológicas: dos zonas elevadas con respecto al resto, localizada al norte y al sureste, que constituyen la parte culminante y las pendientes de un antiguo pedimento. Otra unidad, localizada en las partes bajas, con topografía suavemente ondulada, que se desarrolla sobre litología de pizarras y una última unidad en los fondos de valle formada por depósitos aluviales.

La longitud total de la red de drenaje de la cuenca, efímera y discontinua, es de 1830 m, de los cuales 996 m se corresponden con zonas acarcavadas (Gómez Gutiérrez *et al.*, 2009). Ésta pertenece a la red de drenaje del río Almonte, que a su vez se inserta en la del río Tago. La cuenca forma parte de una finca de dehesa, con aprovechamiento ganadero. La vegetación puede clasificarse en tres estratos: arbolado, arbustos y herbáceas, que aparecen en diferentes combinaciones y con densidades variadas. El estrato arbóreo está formado principalmente por individuos dispersos de encina (*Quercus rotundifolia*).

Para caracterizar el clima del área de estudio sirve la información proporcionada por el Observatorio Meteorológico de la ciudad de Cáceres que se encuentra a 24 km de distancia. Parapuños se encuadra dentro del dominio climático mediterráneo continental seco. Los veranos son tórridos y los inviernos suaves, con temperaturas medias en julio de 26,0º y mínimas en enero de 7,7º. La temperatura media anual es de 16ºC. La pluviometría de la zona no es abundante, con precipitaciones medias anuales de 514,3 mm y elevada estacionalidad (Schnabel, 1998), con máximos pluviométricos en otoño e invierno, y mínimos en verano (De Luis *et al.*, 2010).

## 2.2 Equipos y técnicas de análisis

La cuenca experimental cuenta con seis pluviómetros de tipo balancín (modelo RG2-M) de 0,2 mm de resolución y registro en intervalos de 5 minutos con dataloggers modelo HOBO de la marca *Onset*<sup>®</sup>, con un diámetro de recepción de 15,4 cm, cuya distribución se puede observar en la figura 1. Los pluviómetros se colocaron verticalmente a 1,5 m de la superficie del suelo y se someten periódicamente a una calibración (Lozano Parra, 2015). La descarga se realizó con una frecuencia aproximada de dos semanas. Para la realización de este trabajo se ha utilizado la serie de datos comprendida entre los meses de abril de 2005 y febrero de 2013, un total de 7 años y 10 meses.

Previo al análisis pluviométrico, se han estimado los datos faltantes para completar los registros de la base de datos, utilizando análisis de regresión, siendo la relación lineal la que mejores resultados ofrece.

Primeramente, para conocer las precipitaciones anuales de la cuenca, diarias, mensuales y estacionales, se ha utilizado el método de la media aritmética y el método de los Polígonos de Thiessen, para analizar diferencias y conocer más las características pluviométricas de la cuenca experimental. Se ha desestimado el método de las isohietas (Shaw, 1988) debido a que, a priori, el área de estudio no presenta fuertes contrastes de topografía.

La media aritmética es el método más simple, en el que se asigna igual peso a cada estación. Este método es factible en áreas con escaso contraste topográfico, poca variabilidad de las precipitaciones y una distribución uniforme de los pluviómetros de la red (Ward & Robinson, 1990).

La fórmula que se aplica para calcular el método de los polígonos de Thiessen es la siguiente (Maderey Rascón, 2005):

$$P_{mm} = \left( P1 \times \frac{S1}{S} \right) + \left( P2 \times \frac{S2}{S} \right) + \dots + \left( Pn \times \frac{Sn}{S} \right)$$

Donde  $P_{mm}$  es la precipitación media de la cuenca;  $P1, P2, \dots, Pn$  es la precipitación registrada en cada pluviómetro;  $S1, S2, \dots, Sn$  es el área de cada polígono y  $S$  el área de la cuenca.

Se ha realizado una caracterización de las precipitaciones mediante frecuencias, asignando a cada dato su frecuencia correspondiente. La frecuencia relativa responde al cociente entre la frecuencia absoluta de un determinado valor y el número total de datos. El estudio de la caracterización de las precipitaciones (precipitación media anual, mensual, estacional y distribución de frecuencias, etc.) se realizó con la base de datos completa (relleno de lagunas) (N = 2872).

Para estudiar la variabilidad espacial de las precipitaciones en Parapuños se comparan datos de precipitación entre los distintos pluviómetros, además de calcular su desviación estándar y coeficiente de variación (incluyendo datos estimados con días de precipitaciones iguales y superiores a 0,2 mm) (N = 696). Para la escala diaria se utilizó la base de datos que excluye los días con lagunas, es decir disponiendo de información de cada uno de los seis pluviómetros (N = 231). Se establecieron un total de seis grupos en función de las siguientes clases de precipitaciones diarias: superiores a 30 mm (A), entre 10 y 30 mm (B) y entre 5 y 10 mm (C). Diferenciando en cada grupo intensidades superiores a 24 mm/h (x) e inferiores a 24 mm/h (y). Se utilizaron estadísticas descriptivas como histogramas de frecuencias, prueba t-student y diagramas de caja.

También se analizan dos eventos de precipitación representativos (con y sin variabilidad espacial), por medio de hietogramas. Al contar con datos pluviométricos cada cinco minutos, podemos presentar mediante hietogramas las características de un determinado evento de precipitación y comparar las intensidades y distribución temporal de la lluvia. El criterio empleado consiste en analizar las intensidades máximas en 5, 10, 30 y 60 minutos de cada uno de los eventos o de los eventos seleccionados. También se presentan curvas de masa de precipitación (curva acumulada de precipitación) para completar el análisis de eventos, representando gráficamente el comportamiento de la lluvia.

Aunque no existen criterios unificados de forma objetiva para clasificar la intensidad pluviométrica, sí hay tablas de intensidades que expresan lo típico y atípico de una cierta intensidad en una determinada zona del mundo. La tabla 1 presenta la clasificación utilizada por la Agencia Estatal de Meteorología para intensidades máximas en una hora.

Tabla 1. Clasificación de la lluvia según la intensidad máxima en una hora.  
Agencia Estatal de Meteorología

<i>Intensidad de lluvia</i>	<i>Intensidad máxima en 60 minutos (mm/h)</i>
DEBIL	< 2
MODERADA	2,1 – 15
FUERTE	15,1 – 30
MUY FUERTE	30,1 – 60
TORRENCIAL	> 60

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Estimación de datos faltantes

Entendiendo como laguna un día sin dato, la tabla 2 presenta el número de lagunas para cada uno de los pluviómetros referente a los 8 años (abril de 2005 – febrero de 2013). Las lagunas presentan como promedio un total de 7,4% con un  $n = 4968$  (seis pluviómetros), representando 828 días con lluvia, con una media anual de 94 días con precipitaciones superiores a 0,2 mm.

Tabla 2. Número de lagunas por pluviómetro y total

<i>Tamaño muestral/pluviómetro</i>	<i>H1</i>	<i>H2</i>	<i>H3</i>	<i>H4</i>	<i>H5</i>	<i>H6</i>	<i>Total lagunas</i>
N = 4968	39	106	21	78	83	42	369
% Lagunas	4,7	12,8	2,5	9,4	10,0	5,0	7,4

Como se puede observar, un 7,4% de los datos son lagunas por término medio, destacando el pluviómetro H2 con 106, es decir, un 12,8% de datos faltantes. Sin embargo, el pluviómetro H3 únicamente tiene 21 lagunas, el equivalente al 2,5%.

La tabla 3 muestra la matriz de correlación, siendo el coeficiente de Pearson bastante elevado de forma general. Al objeto de aumentar el tamaño muestral y no reducirlo al número de casos sin lagunas en ningún pluviómetro ( $N = 368$ ), se ha utilizado la denominada eliminación por pares de datos faltantes en matrices de correlación. Esta calcula una correlación entre cada par de variables de todos los casos que tienen datos válidos sobre dos variables.

Señalar que la recta de ajuste lineal de los más correlacionados se adapta bien a la nube de puntos. Finalmente, para estimar los datos faltantes se utilizaron los pares de pluviómetros de mayor ajuste (con una significancia superior al 90%) y que se presentan a continuación:

$$H1 = 0,00789 + 0,99957 H6$$

$$H2 = -0,0180 + 1,0254 H4$$

$$H3 = 0,05002 + 0,99166 H4$$

$$H4 = 0,06377 + 0,96750 H2$$

$$H5 = 0,09290 + 0,99753 H6$$

$$H6 = 0,04430 + 0,99232 H1$$

Tabla 3. Matriz de correlación (r) entre los distintos pluviómetros ( $p < 0,05$ )

<i>Variable</i>	<i>H1</i>	<i>H2</i>	<i>H3</i>	<i>H4</i>	<i>H5</i>	<i>H6</i>
H2	0,9909	1				
N	521	603				
H3	0,9872	0,9925	1			
N	575	538	684			
H4	0,9904	0,996	0,9948	1		
N	533	495	555	599		
H5	0,9941	0,9927	0,9892	0,9929	1	
N	540	497	562	513	631	
H6	0,9959	0,9933	0,9903	0,9932	0,9956	1
N	546	520	589	533	542	648

### 3.2. Estimación de la precipitación media de la cuenca

Una vez homogeneizados los datos diarios se procedió a la determinación de la estimación de las precipitaciones medias de la cuenca. Aplicando el método de los Polígonos Thiessen se obtuvo la fracción decimal que expresa el peso de cada polígono sobre el área total de la cuenca, siendo la ecuación para el cálculo de la precipitación media de la cuenca la siguiente:

$$P = (P1 \times 0,06398) + (P2 \times 0,17538) + (P3 \times 0,16854) + (P4 \times 0,20671) + (P5 \times 0,23107) + (P6 \times 0,15433)$$

A partir de esta fórmula se calcularon las precipitaciones mensuales y anuales de la cuenca. La tabla 4 muestra una comparación entre el método Thiessen con las precipitaciones obtenidas utilizando las medias aritméticas.

Como se puede observar, existen significativas diferencias para ser una pequeña cuenca de 100 ha, pero están ligadas a la distribución de los pluviómetros y a la morfometría de dicha cuenca experimental. Como muestra la tabla 4 como promedio, la media aritmética de los diferentes años es 0,9 mm superior al promedio de precipitación resultante del método Thiessen para los cinco años de estudio.

Relacionado con las precipitaciones medias mensuales, se han observado meses donde es superior el método Thiessen frente a la media aritmética, pero solamente en un 31,9% se produce este caso. Destacar como ejemplo significativo y extremo los va-

Tabla 4. Comparación entre las precipitaciones medias anuales de la cuenca, determinadas con la media aritmética y los polígonos Thiessen y las diferencias

<i>Año</i>	<i>Media (mm)</i>	<i>Thiessen (mm)</i>	<i>Media-Thiessen (mm)</i>
2005-06	394,6	393,3	1,4
2006-07	650,2	646,2	4,0
2007-08	490,3	487,3	3,0
2008-09	303,8	303,4	0,4
2009-10	794,4	794,4	0,0
2010-11	653,3	654,5	-1,2
2011-12	292,3	293,5	-1,2
Media	511,3	510,4	0,9

lores registrados el día 8 de mayo de 2008, en el que las precipitaciones resultantes del método Thiessen es 0,66 mm superior a la media aritmética. Por el contrario el 19 de noviembre de 2007, la media aritmética de los pluviómetros es 0,79 mm superior a las precipitaciones resultantes del método Thiessen.

Otro aspecto a señalar es que las diferencias más notorias entre ambas técnicas se dan en meses con altas precipitaciones, pero no es una correlación directa, ya que hay meses con menores precipitaciones que presentan diferencias considerables. A pesar de las pequeñas diferencias entre ambos métodos, Thiessen determina que la ubicación de los pluviómetros es buena, desde el punto de vista de su distribución espacial, además de representar la topografía de la cuenca.

### 3.3. Caracterización de las precipitaciones

#### 3.3.1. Precipitación anual y mensual de Parapuños

La precipitación media anual es de 510 mm, aunque existe una notable variabilidad en los diferentes años hidrológicos estudiados. El año hidrológico más lluvioso ha sido el 2009-2010 con casi 800 mm, sin embargo, el menos lluvioso fue el año 2011-2012 con 294 mm (tabla 4).

La figura 2 muestra las precipitaciones medias mensuales de las fechas comprendidas entre abril de 2005 y enero de 2013. Existe una pronunciada estacionalidad en la distribución de las precipitaciones a lo largo del año, marcando la estación estival

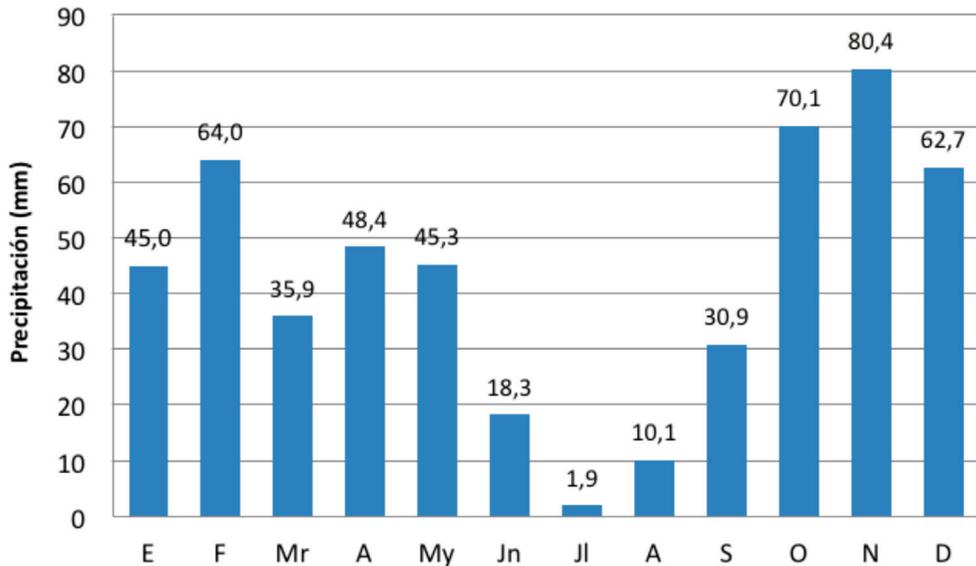


Figura 2. Precipitaciones medias mensuales de los años comprendidos entre 2005 y 2012.

el mínimo pluviométrico (30 mm de precipitación media), destacando el mes de julio. Por el contrario, son elevadas las cantidades registradas entre octubre y febrero. La estación más lluviosa es la otoñal con 181 mm, seguida por la invernal con 172 mm, ambas representan casi el 70% de las precipitaciones anuales.

Las características pluviométricas se deben tanto a factores geográficos como dinámicos. Ya se ha indicado que la cuenca tiene una altitud media relativamente baja, con un gradiente altitudinal suave, pues se enmarca dentro de la penillanura Trujillano-cacereña. Los factores dinámicos son los que repercuten en gran parte de las precipitaciones. Obviamente, el clima de Parapuños está influenciado por la Circulación General Atmosférica; España se ubica entre el cinturón de altas presiones subtropicales y el cinturón de bajas presiones polares; y dependiendo de las estaciones anuales éstos centros de acción se aproximan o se alejan de la zona, condicionando la mayor o menor presencia de precipitaciones.

Las precipitaciones en la cuenca aparecen con la presencia de las borrascas ondulatorias (bajas presiones polares) acentuándose más en la Península Ibérica en otoño e invierno, debido en ocasiones a la presencia del anticiclón térmico peninsular, son épocas del año donde el anticiclón de las Azores está a latitudes inferiores y el frente polar también.

Sin embargo, en los meses de verano las borrascas atlánticas no atraviesan la península debido a la presencia del anticiclón de las Azores, que repele cualquier ciclón, originando escasas precipitaciones, incluso nulas (sequía) sobre el territorio del centro y sur peninsular. Y es que en las áreas mediterráneas, la disponibilidad del agua es muy variable en el espacio y en el tiempo (Pulido Fernández y Schnabel, 2010). En ocasiones, Parapuños registra precipitaciones en verano, propias de las denominadas lluvias convectivas (baja térmica peninsular), descargando en forma de chubascos, granizos y tormentas. Esta borrasca suele tener un carácter efímero y un alcance local, afectando a zonas del interior y áreas montañosas.

### 3.3.2. Precipitaciones diarias

En cuanto a la caracterización pluviométrica de Parapuños, la tabla 5 muestra las frecuencias en función de la cantidad de días que hay en la serie de datos estudiados dentro de los intervalos asignados en función de las características pluviométricas de la cuenca. Como media anual se han registrado 94,9 días de precipitaciones iguales o superiores a 0,1 mm. El 50% de los días de lluvia produce solamente el 5,5% de la cantidad de precipitación anual, y el 75% de los días el 24%. De tal forma que el 25% del resto de días representa el 76%. En términos generales, aproximadamente el 10% de los días con precipitaciones producen el 48% del total. Estos resultados demuestran una alta irregularidad de la precipitación diaria, siendo levemente superior la irregularidad en la costa mediterránea española (Martín Vide, 1989).

Si se compara con el Observatorio de la ciudad de Cáceres (Schnabel, 1998), esta registró 85,8 días de precipitaciones iguales o superiores a 0,1 mm. El 50% de los días de lluvia produjo el 8,9% de la cantidad anual, mientras que 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.

Según la tabla 5, el 46,6% de las precipitaciones anuales corresponden a precipitaciones comprendidas entre 1 y 10 mm. Los porcentajes más altos de días con precipitación coinciden con los intervalos de precipitaciones más bajos (0,1-10 mm), es decir, son las más frecuentes, superando el 83% de los días con precipitación. Todo lo contrario con la baja frecuencia (2,5%) de lluvias con cantidades elevadas (> 30 mm). Para que se registre un día con más de 50 mm habría que esperar, según los cálculos, aproximadamente 4 años.

En cuanto a la distribución estacional de las cantidades diarias, la máxima corresponde al mes de diciembre, seguido por enero y noviembre. Únicamente los meses de noviembre y abril han registrado en los cinco años de estudio algún día o días con precipitaciones superiores a 50 mm. Existe un periodo de retorno de 8 años en ambos para que se vuelva a registrar un día con precipitaciones superiores a 50 mm.

Tabla 5. Distribución media anual de las frecuencias anuales de precipitación diaria de cantidad variable (2005-2012) (F-Rel = frecuencia relativa)

<i>Mes</i>	<i>0_1_1</i>	<i>1_10</i>	<i>10_30</i>	<i>30_50</i>	<i>&gt; 50</i>	<i>Suma</i>
Septiembre	1,13	2,75	0,63	0,25	0,00	4,75
Octubre	3,88	4,13	1,50	0,63	0,00	10,13
Noviembre	4,88	4,63	1,50	0,63	0,13	11,75
Diciembre	6,13	4,75	2,38	0,13	0,00	13,38
Enero	5,63	5,88	1,00	0,13	0,00	12,63
Febrero	3,00	6,29	1,29	0,29	0,00	10,86
Marzo	3,00	3,71	1,29	0,00	0,00	8,00
Abril	2,25	5,13	1,38	0,00	0,13	8,88
Mayo	2,50	3,88	1,63	0,00	0,00	8,00
Junio	1,38	1,88	0,50	0,13	0,00	3,88
Julio	0,50	0,25	0,13	0,00	0,00	0,88
Agosto	0,38	1,00	0,38	0,00	0,00	1,75
Año	34,63	44,25	13,57	2,16	0,25	94,86
F-Rel (%)	36,50	46,65	14,31	2,28	0,26	100

Los meses con menor cantidad de días lluviosos son julio y agosto, entre 0 y 2 días de lluvias en todo el año. A pesar de esa escasa cifra de días, ambos meses a lo largo de la serie de datos han registrado precipitaciones diarias de entre 10 y 30 mm. Esta peculiaridad se debe a las lluvias convectivas que se producen en verano, descargando en ocasiones grandes cantidades de lluvia en poco tiempo.

Respecto a la distribución de las frecuencias de las intensidades de lluvia observadas en Parapuños, la tabla 6 muestra las frecuencias de las máximas intensidades en 5 minutos según estación. Como media anual se han registrado 88,3 días de intensidades iguales o superiores a 1 mm/h. El 52,7% de los días de lluvia tienen una intensidad muy baja (1 – 5 mm/h). Cabe destacar que hay un mayor número de días de lluvia con intensidades entre 10-30 mm/h que de 5-10 mm/h. Tan sólo un 4,3% de los días con lluvia tienen una intensidad entre 30 y 120 mm/h.

Referente a la distribución estacional de las intensidades diarias y diferenciando por intervalos, la estación invernal es la que presenta un mayor número de días con intensidades de lluvias más débiles (1-10 mm/h). Sin embargo, el otoño y el verano son

las estaciones donde hay más días con intensidades superiores (30-60 mm/h). Esta particularidad es propia de las lluvias convectivas y torrenciales de esta época del año, donde se descargan en ocasiones grandes cantidades de lluvia en un periodo corto de tiempo. No obstante, la primavera ha sido la estación con mayor frecuencia de las intensidades más elevadas (60-120 mm/h).

Tabla 6. Distribución media anual de las frecuencias estacionales de las intensidades máximas en cinco minutos (2005-2012) (F-Rel = frecuencia relativa)

Estación	1-5 mm/h		5-10 mm/h		10-30 mm/h		30-60 mm/h		60-120 mm/h	
	Nº días	%	Nº días	%	Nº días	%	Nº días	%	Nº días	%
Otoño	12,50	50,24	4,75	19,09	5,63	22,61	1,63	6,53	0,38	1,51
Invierno	20,61	62,11	6,55	19,75	5,52	16,63	0,50	1,51	0,00	0,00
Primavera	10,77	44,20	4,52	18,55	8,07	33,13	0,50	2,05	0,50	2,05
Verano	2,38	40,39	1,38	23,38	1,38	23,38	0,63	10,63	0,13	2,13
Año	46,25		17,20		20,59		3,25		1,00	
F-Rel (%)	52,69		19,59		23,45		3,70		1,14	

### 3.4. Variación espacial de la lluvia

#### 3.4.1. Escala anual y mensual

Para una mejor sistematización y análisis de los datos, se han establecido las diferentes cantidades anuales de precipitaciones registradas por cada pluviómetro (tabla 7). Los pluviómetros H5 y H1 son los que mayores cantidades totales registraron, mientras que H4 y H3 son los que menos precipitaciones presentaron. Estos dos últimos superan los 27 mm de diferencia anual con respecto al pluviómetro H5, semejante a las precipitaciones por término medio que registra el mes de septiembre en Parapuños. Esta diferencia supone un 5,1% menos de precipitaciones en comparación con el pluviómetro H5.

Referente a las precipitaciones de cada pluviómetro en los diferentes años hidrológicos, señalar que durante el año hidrológico más lluvioso (2009-10), se registraron precipitaciones más típicas de climas húmedos peninsulares. H5 es el que más precipitaciones registró (812 mm) y H4 el que menos (775 mm), localizados ambos a unos 730 metros de distancia. La diferencia entre ambos pluviómetros es de 37 mm anuales. Durante el año hidrológico menos lluvioso (2011-12), H5 es el que más pluviometría registró (304,3 mm) y H2 el que menos (283,5 mm). La diferencia entre ambos pluviómetros es de 20,7 mm anuales.

Tabla 7. Cantidades anuales de precipitación de cada uno de los pluviómetros, las medias, desviación estándar (STD) y coeficiente de variación (COEF), y diferencias con respecto a la máxima cantidad (H5)

<i>Año</i>	<i>H1</i> <i>mm</i>	<i>H2</i> <i>mm</i>	<i>H3</i> <i>mm</i>	<i>H4</i> <i>mm</i>	<i>H5</i> <i>mm</i>	<i>H6</i> <i>mm</i>	<i>Media</i> <i>mm</i>	<i>STD</i> <i>mm</i>	<i>COEF</i> <i>%</i>
2005-06	414,1	390,1	357,4	386,6	410,3	409,4	394,6	21,5	5,4
2006-07	684,5	648,7	623,5	630,4	656,1	658,1	650,2	21,8	3,4
2007-08	520,3	490,3	463,7	475,8	500,0	491,8	490,3	19,6	4,0
2008-09	310,9	300,4	299,2	290,5	318,9	302,5	303,8	9,9	3,3
2009-10	795,1	801,9	776,2	774,7	812,0	806,4	794,4	15,7	2,0
2010-11	641,2	664,0	650,0	630,5	666,8	667,3	653,3	15,3	2,3
2011-12	283,8	283,5	303,3	285,0	304,3	294,0	292,3	9,7	3,3
Media	524,2	514,7	503,3	503,2	530,5	524,1	511,3	16,2	3,4
Diferencia (mm)	-6,3	-15,8	-27,2	-27,2		-6,4			
Diferencia (%)	-1,2	-3,0	-5,1	-5,1		-1,2			

El año hidrológico que muestra mayor variación espacial es 2006-07, con una desviación estándar de 21,8 mm. En este caso, H1 es el pluviómetro con mayores precipitaciones (684,5 mm) y H3 el que menos precipitaciones registró (623,5 mm), lo que equivale a una diferencia de 61 mm; la distancia entre los dos pluviómetros es de 988 metros. La menor variación se observa en años hidrológicos con precipitaciones mayores, no obstante, no es una relación tan clara.

Los pluviómetros que registraron las mayores cantidades (H1, H5) se localizan en la parte alta de la cuenca, mientras los de menores cantidades (H3, H4) se encuentran en la parte baja, en una amplia vaguada. La diferencia de altitud entre los pluviómetros localizados al norte de la cuenca (H1, H5) y al sur de la misma (H3, H4) es de unos 60 metros, y por tanto, el gradiente altitudinal es pequeño. Además, no se trata de grandes altitudes que favorezcan las lluvias orográficas o el efecto Föhn. En este sentido, el factor altitudinal no explica las diferencias observadas entre pluviómetros. Probablemente, las principales causas de dichas diferencias podrían ser:

- 1) Fruto de la orientación de la cuenca y de la dirección de los vientos (Gallego Jiménez, 1997). La orientación de Parapuños es suroeste, y los vientos dominantes (Ábre-gos) ofrecen esa misma dirección. Estas peculiaridades coinciden con estudios rea-

lizados por otros autores para pequeñas cuencas en zonas próximas a Parapuños (Ceballos Barbancho & Schnabel, 1998). Aunque los impactos del viento son más importantes en regiones con mayor variación topográfica (Goodrich *et al.*, 1995).

- 2) Los pluviómetros H1 y H5 están situados a escasos metros de la divisoria de la cuenca, donde el viento posiblemente es más frecuente e intenso impidiendo que la lluvia caiga perpendicular al suelo. Según Sharon (1970) y Shanan (1976), las partes altas de las vertientes tienden a coleccionar menos lluvia que las partes bajas de la misma; lo que parece no cumplirse en la cuenca experimental de Parapuños. Una explicación podría ser que los pluviómetros H1 y H5 no están totalmente expuestos a los vientos, debido a que no se localizan en las zonas culminantes de la cuenca, sino que están en las partes altas de la ladera.

### 3.4.2. Escala diaria

Para analizar las diferencias espaciales de las precipitaciones diarias y su variación mensual y estacional, la tabla 8 muestra los rangos, desviaciones estándar y coeficientes de variación de los 6 pluviómetros. Los valores mostrados son medias de los seis años hidrológicos estudiados, incluyendo solamente meses con cantidades iguales o superiores a 0,2 mm. Septiembre es el mes con mayor desviación estándar y con mayor diferencia de rango, seguido por noviembre. Septiembre es el mes que abre el año hidrológico, se suelen registrar las denominadas lluvias convectivas debido al sobrecalentamiento terrestre de los meses estivales, favoreciendo la dinámica del ciclo del agua con una mayor evaporación y precipitación, generalmente de carácter tormentoso. Asimismo, el otoño es la estación que mostró mayor variación entre los pluviómetros, debido a los factores comentados anteriormente.

Como dato a destacar y que no se muestra en la tabla, la máxima variación se registró en noviembre de 2007, con una desviación estándar de 2,2 mm. En dicho mes la máxima diferencia entre los pluviómetros fue de 15,4 mm. Un valor superior a la diferencia entre Parapuños y la ciudad de Cáceres, localizados a aproximadamente 24 km, cuya diferencia fue de 1,2 mm. La finca registró 89,1 mm en noviembre de 2007 y Cáceres 90,3 mm.

Febrero es el mes con un mayor coeficiente de variación (31,5%). También la estación invernal ofrece el valor más elevado. Sin embargo, agosto, con un valor de 8,9%, es el mes con un menor coeficiente de variación. La estación estival es la que menor coeficiente de variación presenta.

Las variaciones mensuales tienen una clara relación inversa con la cantidad de precipitaciones, es decir, los mayores coeficientes de variación corresponden en gran medida a meses con lluvias menos cuantiosas, debido a que pequeñas diferencias se traducen en una variabilidad relativamente alta. Similar casuística se produjo en

Guadalperalón, donde los meses con precipitaciones menos cuantiosas fueron los que ofrecían un mayor porcentaje de variabilidad espacial de las precipitaciones (Ceballos Barbancho y Schnabel, 1998).

Tabla 8. Variación espacial de las precipitaciones diarias y su distribución mensual y estacional. Rango (\*), desviación estándar (STD) y coeficiente de variación (COEF). Cada variable representa ocho años de estudio

	<i>Rango</i> (mm)	<i>STD</i> (mm)	<i>COEF</i> (%)	<i>Rango</i> (mm)	<i>STD</i> (mm)	<i>COEF</i> (%)
Enero	0,98	0,39	28,8	Invierno		
Febrero	0,95	0,37	31,5	1,01	0,39	28,1
Marzo	0,90	0,34	19,5			
Abril	1,48	0,56	15,4	Primavera		
Mayo	1,48	0,59	24,5	1,28	0,50	19,8
Junio	1,15	0,46	23,9			
Julio	0,45	0,17	11,5	Verano		
Agosto	1,33	0,49	8,9	0,98	0,37	14,8
Septiembre	2,16	0,82	20,6			
Octubre	1,38	0,54	18,0	Otoño		
Noviembre	1,64	0,66	16,2	1,73	0,67	18,3
Diciembre	1,09	0,42	24,0			

(\*) Rango medio de los rangos mensuales de cada día.

### 3.4.3. Variación espacial de las intensidades de lluvia

Para el análisis de las intensidades se han establecido seis grupos diferentes en función de la precipitación diaria y de la intensidad máxima en 5 minutos, con objeto de establecer un criterio de selección de los eventos de precipitación y analizar mejor la variación espacial. Para ello, La figura 3 ilustra la relación entre las precipitaciones diarias y las máximas intensidades en 5 minutos, justificando los grupos establecidos. Los valores son las medias de 6 pluviómetros. El ajuste lineal es significativo a un nivel de confianza del 95%. El tamaño muestral del gráfico representa los días con precipitaciones superiores a 0,2 mm. Destaca la elevada dispersión, resultado de que precipitaciones con similares cantidades registraron intensidades muy diferentes.

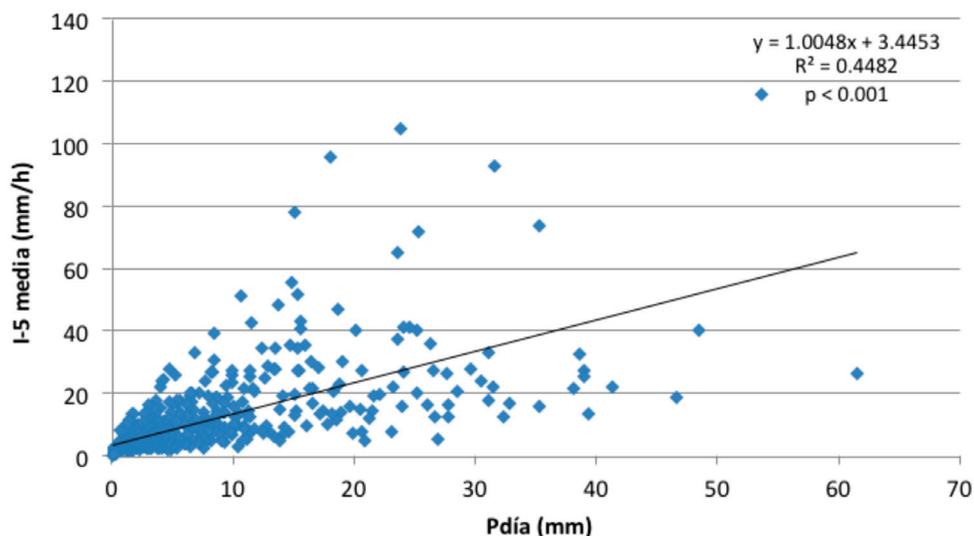


Figura 3. Relación entre las precipitaciones medias diarias y la intensidad en cinco minutos, con la recta de mejor ajuste de la regresión lineal (N = 696).

Se establecieron las siguientes clases de cantidades diarias: superiores a 30 mm (A) (N = 19), entre 10 y 30 mm (B) (N=106) y entre 5 y 10 mm (C) (N = 106). El análisis solamente incluye los días con precipitaciones superiores a 5 mm, debido a que este valor constituye el umbral para la generación de escorrentía en una cuenca con similares características que las de Parapuños (Schnabel, 1997).

En función de las intensidades medias máximas en 5 minutos (I5) de los seis pluviómetros, según las cantidades de precipitación diaria, lluvias con precipitaciones mayores (>30 mm) registran mayores intensidades, siendo ligeramente inferior en precipitaciones entre 10 y 30 mm. Aunque existe una tendencia clara, no es estadísticamente significativa. La prueba *test de Student*, permite determinar las diferencias entre las intensidades según los grupos establecidos en función de la cantidad y para la construcción del intervalo de confianza. No obstante, si agrupamos los datos según cantidades (A, B y C) (figura 4), las diferencias no son significativas entre A y B, pero sí, entre A y C, y B y C.

Además de establecer grupos por cantidad, se establecieron subgrupos en función de intensidades superiores a 24 mm/h (x) e inferiores a 24 mm/h (y) (tabla 9). La variabilidad es mayor a medida que las precipitaciones son más abundantes y también en intensidades superiores a 24 mm/h, excepto en el grupo B (5-10 mm). El promedio de la desviación estándar de los distintos eventos para I5 es de 7,9 en el grupo A, 5,4 en el grupo B y 1,4 para el grupo C. Este último grupo (5-10 mm) presenta una desviación estándar reducida, sin embargo, la variabilidad es más pronunciada en intensidades superiores a 24 mm/h.

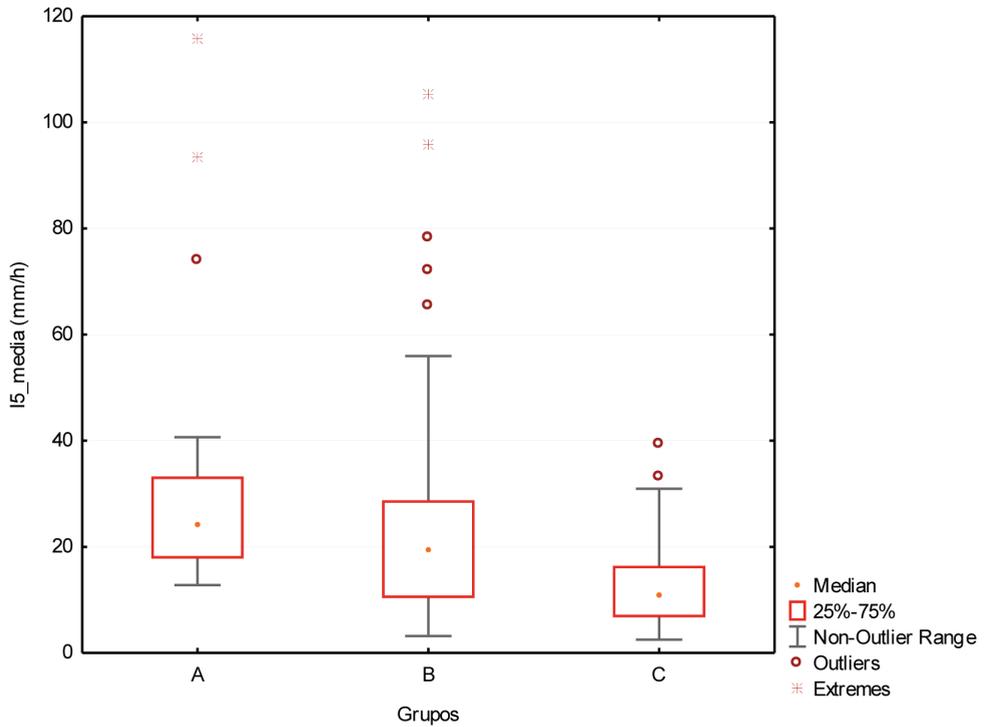


Figura 4. Intensidad en 5 minutos por grupo (A, B y C).

Tabla 9. Estadística descriptiva de cantidades (Pdía) según los grupos establecidos (N = 231) P10 y P90 – percentil de 10 y 90%, respectivamente

	N	Media	Mediana	Mínima	Máxima	1 <sup>er</sup> cuartil	3 <sup>er</sup> cuartil	P10	P90	STD
Ax	10	40,8	38,8	30,4	61,5	31,6	48,4	30,8	57,6	10,5
Ay	9	36,5	35,3	31,1	46,6	32,3	39,3	31,1	46,6	5,3
Bx	40	18,1	15,7	10,6	29,6	13,6	23,7	11,9	25,8	5,4
By	66	16,3	15,1	10,0	28,5	11,2	20,4	10,4	25,2	5,4
Cx	10	8,3	8,3	5,3	9,9	7,6	9,9	6,0	9,9	1,5
Cy	96	7,2	7,1	5,0	9,8	6,1	8,3	5,3	9,2	1,4

### • Análisis de eventos de precipitación

Para analizar las variaciones de los eventos de precipitación, se han seleccionado para cada uno de los grupos los eventos más representativos. La tabla 10 muestra las características de precipitación, intensidad y otros aspectos pluviométricos de estos eventos en función de los grupos establecidos. Se ha comprobado que los eventos pertenecientes a los subgrupos con intensidades superiores a los 24 mm/h registran una mayor variabilidad espacial. Las precipitaciones y las intensidades entre pluviómetros son notablemente distintas. Existe concordancia en el momento de inicio de la lluvia en los grupos A y B, por el contrario, no se produce en los eventos del grupo C (5-10 mm). La duración de los eventos no presenta relación con la cantidad e intensidad. Según la clasificación que establece la AEMET, tan solo el evento analizado del grupo B (10-30 mm) y con intensidad superior a 24 mm/h (x), presenta una intensidad máxima de carácter fuerte.

Tabla 10. Variación de precipitación e intensidades de los 6 pluviómetros para los eventos seleccionados en función de los grupos establecidos

<i>Parámetros\Grupo</i>	<i>Ax</i>	<i>Ay</i>	<i>Bx</i>	<i>By</i>	<i>Cx</i>	<i>Cy</i>
<i>Fecha</i>	19/11/2007	16/06/2007	27/05/2011	17/03/2006	20/02/2008	21/10/2009
<b>P-día (mm)</b>	<b>48,40</b>	<b>30,50</b>	<b>15,00</b>	<b>10,00</b>	<b>9,90</b>	<b>8,70</b>
Máxima	56,70	30,80	17,00	11,20	13,00	8,91
Mínima	46,80	30,20	11,60	8,40	7,20	8,00
Duración (horas)	6,0	2,5	0,5	10,0	1,6	4,0
Inicio lluvia	Similar	Similar	Similar	Similar	Desigual	Desigual
<b>I-5 media (mm/h)</b>	<b>40,70</b>	<b>23,00</b>	<b>78,30</b>	<b>10,20</b>	<b>24,00</b>	<b>7,60</b>
Máxima	52,80	28,80	79,20	12,00	41,30	7,70
Mínima	28,80	21,50	69,80	9,60	12,00	7,30
<b>I-60 media (mm/h)</b>	<b>13,70</b>	<b>11,90</b>	<b>15,10</b>	<b>3,20</b>	<b>6,40</b>	<b>4,10</b>
Según AEMET	Moderada	Moderada	Fuerte	Moderada	Moderada	Moderada
<b>Grado de variabilidad espacial</b>	<b>Alto</b>	<b>Bajo</b>	<b>Alto</b>	<b>Bajo</b>	<b>Alto</b>	<b>Bajo</b>

A continuación se analizan dos de los seis eventos, uno representativo del grupo Ay, que no presenta variabilidad espacial y otro del grupo Cx, con elevada variabilidad espacial. Para cada evento de lluvia se representan gráficamente los dos pluviómetros con mayores diferencias (cantidades). En el caso del día 16 de junio de 2007, la figura 5 muestra los pluviómetros H5 y H6, representativo del *grupo Ay*.

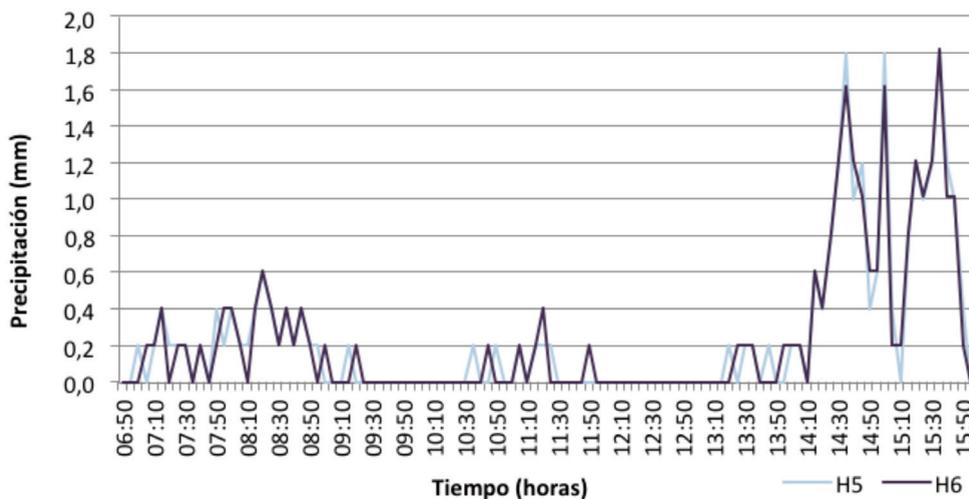


Figura 5. Distribución de la intensidad media 5-minutal a lo largo del tiempo para los pluviómetros H5 y H6 (16/06/07).

Durante casi las 12 horas se registran precipitaciones, aunque el periodo de valores máximos transcurre desde las 13:55 h hasta las 14:55 h. La precipitación media diaria registrada en la finca durante ese día fue de 30,5 mm, con una escasa variabilidad entre pluviómetros. El pluviómetro H5 registró 30,8 mm y el pluviómetro H6, 30,2 mm. Las intensidades cincominutales fueron similares, 21,6 en H5 y 21,9 en H6 (tabla 11). Aproximadamente durante dos horas estuvo constantemente lloviendo, suponiendo más del 70% de la precipitación total diaria.

Tabla 11. Intensidades máximas en 5, 10, 30 y 60 minutos, 16 de junio de 2007

<i>Intensidades en función del tiempo</i>	<i>Pluviómetro H5</i>	<i>Pluviómetro H6</i>
Intensidad 5 (mm/hora)	21,6	21,9
Intensidad 10 (mm/hora)	18,0	18,2
Intensidad 30 (mm/hora)	14,8	14,6
Intensidad 60 (mm/hora)	11,6	11,5

El segundo evento de precipitación que se analiza hace referencia al día 20 de febrero de 2008, evento perteneciente al *grupo Cx* con una intensidad superior a 24 mm/h. La figura 6 muestra el hietograma donde se reflejan los datos de precipitacio-

nes de los pluviómetros H3 y H5. Como se puede observar en este gráfico, existe una notoria irregularidad en la distribución de las precipitaciones. La duración del evento principal de lluvia transcurre desde las 14:50 hasta las 16:30 h. Se trata de una lluvia que alcanza sus picos máximos de forma inmediata, con una corta duración.

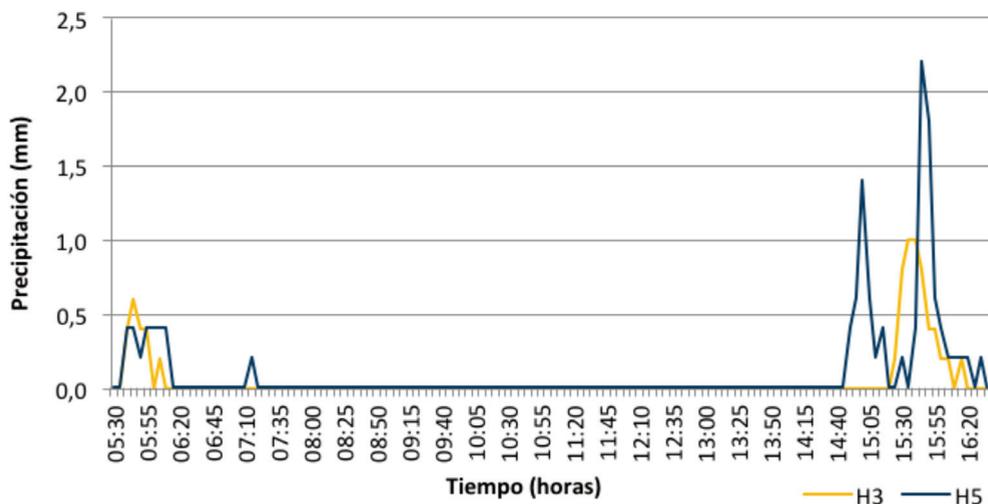


Figura 6. Distribución de la intensidad media 5-minutal a lo largo del tiempo para los pluviómetros H3 y H5 (20/02/08).

La precipitación media de la cuenca durante ese día fue de 9,9 mm; distribuida espacialmente de forma muy irregular. El pluviómetro H3 registró un total de 7,2 mm; mientras que el pluviómetro H5, 13 mm. Las intensidades máximas cincominutales también fueron distintas en H3 y H5, con 12 mm/h y 26,4 mm/h, respectivamente (tabla 12). La duración de la lluvia se desarrolló durante 1 hora y 40 minutos, existiendo un pequeño periodo de tiempo donde se produjo mayor cantidad de precipitaciones. Aproximadamente durante hora y media estuvo constantemente lloviendo, suponiendo el 85% de la precipitación total diaria; alcanzándose su máxima intensidad a las 15:45 con un total de 2,2 mm contabilizados en el pluviómetro H5, mientras que el pluviómetro H3 en ese momento registró 0,8 mm, siendo su intensidad máxima de 1 mm a las 15:35.

En cuanto a la variabilidad espacial, indicar que el segundo evento de lluvia durante este día, se inicia a partir de las 14:45 en el pluviómetro H5, sin embargo, el pluviómetro H3 no registra lluvia hasta las 15:25, es decir, 40 minutos después. Ambos pluviómetros están situados a 1,03 km de distancia. Nieto Liñán *et al.* (2004) señalan que la intensidad y duración de un evento de lluvia, así como su distribución espacial, dependen en gran medida de las características de la borrasca, de la topografía y de la dirección e intensidad del viento.

Tabla 12. Intensidades máximas en 5, 10, 30 y 60 minutos, 20 de febrero de 2008

<i>Intensidades en función del tiempo</i>	<i>Pluviómetro H3</i>	<i>Pluviómetro H5</i>
Intensidad 5 (mm/hora)	12,0	26,4
Intensidad 10 (mm/hora)	12,0	24,0
Intensidad 30 (mm/hora)	8,8	11,2
Intensidad 60 (mm/hora)	5,2	7,8

La figura 7 representa la curva de masa resultante de los datos acumulados del evento de lluvia de los dos pluviómetros que se han utilizado para el análisis de este día. Según el gráfico, existen notables diferencias en cuanto a la intensidad de lluvia entre el pluviómetro H3 y H5. Desde las 14:40 h hasta las 15:00 h la pendiente de la curva del pluviómetro H5 es acusada debido a las intensas precipitaciones que registró en ese periodo de tiempo. Sin embargo, los pluviómetros H3 y H4, desde las 14:40 h hasta las 15:10 h no registraron precipitaciones. Se observan unos 40 minutos de tiempo desde que se inicia el evento en el pluviómetro H5 hasta que se inicia la precipitación en el pluviómetro H3 y H4.

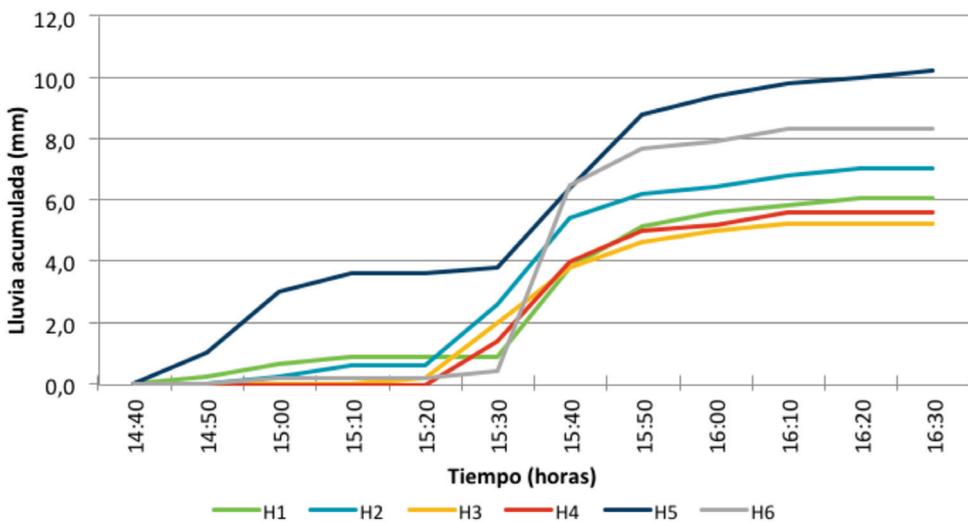


Figura 7. Curva de masa de precipitación del evento de lluvia del 20 de febrero de 2008.

Cambia la dinámica desde las 15:20 h (15:30 h en H1 y H6) hasta las 15:50 h, la pendiente de las curvas es alta, de ahí que durante ese tiempo recibiesen precipitaciones considerables los pluviómetros, aunque la intensidad de lluvia del pluviómetro H5 fue superior al resto. Destaca la intensidad del pluviómetro H6, que pasa de registrar una lluvia acumulada de 0,40 mm a las 15:30 h a 6,48 mm a las 15:40 h, siendo la mayor cantidad de lluvia acumulada hasta ese momento. Sin embargo, desde las 15:50 h y hasta las 16:10 h la pendiente progresivamente se va haciendo horizontal, disminuyendo considerablemente la intensidad de lluvia en los pluviómetros.

Finalmente, a partir de las 16:20 h la línea se hace totalmente horizontal, especialmente en H1, H3 y H4 ligado a la ausencia de precipitaciones, y con ello el fin del evento de precipitación.

#### 4. Conclusiones

La precipitación media anual de la cuenca experimental Parapuños (suroeste de España) es de unos 510 mm. Aplicando el método de la media aritmética y de los Polígonos de Thiessen se ha comprobado que los resultados han sido similares.

La pluviometría registrada en los distintos años hidrológicos ha sido muy diferente, destaca el año 2009-10 con un total del 794,4 mm y el año 2008-09 con 303,4 mm. Dicha variabilidad responde a la irregularidad pluviométrica propia del clima mediterráneo. Por mes y estación, septiembre y el otoño tienen una mayor desviación estándar, debido a la irregularidad de las precipitaciones diarias, mientras que el verano, y en particular julio, ofrecen una menor diferencia de rango. Los pluviómetros que más precipitación registraron están ubicados en las zonas más altas de la cuenca, a una altitud de unos 425 msnm. Por el contrario, los pluviómetros con menor precipitación se localizan en las zonas más bajas, a unos 370 msnm. Según lo estudiado, las diferencias principalmente se deben a la orientación de la cuenca y a la dirección de los vientos dominantes.

El análisis de la distribución de las frecuencias de precipitación diaria muestra que el 75% de los días con lluvia produce solamente el 24% de la cantidad pluviométrica anual. Sin embargo, el 10% de los días con precipitación producen el 48% del total. Esto demuestra una alta irregularidad de la precipitación diaria. El porcentaje más elevado de días con precipitación corresponden con días de lluvias inferiores a 10 mm. Por intensidades diarias, el invierno es la estación que presenta un mayor número de días con intensidades de lluvias débiles. Sin embargo, el otoño y el verano son las estaciones donde hay más días con intensidades más altas (30-60 mm/h), fruto del carácter convectivo de las lluvias en esta época del año. No obstante, la primavera ha sido la estación con mayor frecuencia de las intensidades más elevadas (60-120 mm/h).

Otro objetivo, quizás el más importante abordado en este estudio, ha sido el análisis de la variabilidad espacial de las precipitaciones, las intensidades y los eventos de precipitación. Los eventos con mayor intensidad ( $> 24$  mm/h), son los que mayor variabilidad espacial presentan, produciéndose una descompensación en el inicio de la lluvia entre pluviómetros de hasta 40 minutos. Sin embargo, en los eventos con intensidades inferiores a 24 mm/h existe una notable regularidad en la distribución temporal de las precipitaciones.

Los datos y la información recogida en este estudio permiten profundizar en el conocimiento de la dinámica pluviométrica y la variabilidad espacial de las precipitaciones sobre territorios pequeños, donde según lo analizado, no influye considerablemente los aspectos latitudinales y longitudinales, sino que repercute la orientación del relieve y la exposición a los vientos dominantes, y en menor medida la altitud.

## Bibliografía

- Berndtsson, R. and Niemczynowicz, J., 1986. Spatial and temporal characteristics of high-intensive rainfall in northern Tunisia. *Journal of Hydrology*, 87, pp. 285-298.
- Berndtsson, R. and Niemczynowicz, J., 1988. Spatial and temporal scales in rainfall analysis: Some aspects and future perspectives. *Journal of Hydrology*, 100, pp. 293-313.
- Casanueva A., Rodríguez-Puebla C., Frías M.D., González-Reviriego N., 2014. Variabilidad de las precipitaciones extremas en Europa y sus relaciones con los patrones de teleconexión. *Hydrology and Earth System Sciences*. 18, pp. 709-725.
- Ceballos Barbancho, A., Schnabel, S., 1998. Variabilidad espacial de la lluvia en una pequeña cuenca hidrográfica de la provincia de Cáceres. *Norba Revista de Geografía*, 10, pp. 23-33.
- Ceballos Barbancho, A., Morán Tejada, E., López Moreno, J.I., 2013. Análisis de la variabilidad espacio-temporal de las precipitaciones en el sector español de la cuenca del Duero (1961-2005). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 61, pp. 235-259.
- Cortés Cortés, A.C., 2010. Análisis de la variabilidad espacial y temporal de la precipitación en una ciudad de media montaña andina. Caso de estudio: Manizales. *Maestría thesis*, Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales.
- De Luis, M., Brunetti, M., Gonzalez-Hidalgo, J.C., Longares, L.A. & Martin-Vide, J., 2010. Changes in seasonal precipitation in the Iberian Peninsula during 1946-2005. *Global and Planetary Change*, 74(1), pp. 27-33.
- Delitala A.M.S., Cesari D., Chessa P.A., Ward M.N., 2000. Precipitation over Sardinia (Italy) during the 1946–1993 rainy season and associated large-scales climate variations. *International Journal of Climatology*, 20, pp. 519-541.
- Emanuel, K. and Sanders, F., 1983. Mesoscale meteorology. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 21, pp. 1027-1042.
- Faurès, J.M., Goodrich, D.C., Woolhiser, D.A. and Sorooshian, S., 1995. Impact of small-scale rainfall variability on runoff modeling. *Journal of Hydrology*, 173, pp. 309-326.

- Gallego Jiménez, F., 1997. *Situaciones de flujo mediterráneo y precipitaciones asociadas, aplicación a la predicción cuantitativa en la Cuenca del Segura*. Servicio de Publicaciones, Universidad de Murcia, Murcia.
- Gómez Gutiérrez, Á., Schnabel, S., Lavado Contador, F., 2009. Gully erosion, land use and topographical thresholds during the last 60 years in a small rangeland catchment in SW Spain. *Land Degradation and Development*, 20, pp. 535-550.
- González-Hidalgo J.C., López-Bustins J.A., Stepanek P., Martin-Vide J., de Luis M., 2009. Tendencias mensuales de precipitación en la franja mediterránea de la Península Ibérica durante la segunda mitad del siglo XX (1951-2000). *International Journal of Climatology*, 29, pp. 1415-1429.
- Goodrich, D.C., 1990. Geometric simplification of a distributed rainfall-runoff model over a range of basin scales. *Pb.D. Dissertation*, University of Arizona, Tucson, AZ.
- Goodrich, D.C., Faires, J.M., Woolhisera D.A., Lanea L.J., Sorooshianb, S., 1995. Measurement and analysis of small-scale convective storm rainfall variability. *Journal of Hydrology*, University of Arizona, Department of Hidrology and Water Resources, Tucson, USA.
- Lozano Parra, F.J., 2015. Dinámica del agua edáfica en dehesas y su relación con el clima y la vegetación. *Tesis doctoral*. Universidad de Extremadura.
- Maderey Rascón, L.E., 2005. Principios de Hidrogeografía. Estudio del Ciclo Hidrológico. *Serie Textos Universitarios*, 1, pp. 67-85.
- Maheras P., Kolyva-Machera F., 1990. Temporal and spatial characteristics of annual precipitation over the Balkans in the twentieth century. *International Journal of Climatology*, 10, pp. 495-504.
- Martín Vide, J., 1989. Precipitaciones torrenciales en España. *Norba Revista de Geografía*, nº 6-7, pp. 63-79.
- Martín Vide, J., 1996. Decálogo de la pluviometría española. En: Marzol, M.V., Dorta, P. y Valladares, P. *Clima y agua. La gestión de un recurso climático*, Madrid, Tabapress, pp. 15-24.
- Martín Vide J., Fernández D., 2001. El índice NAO y la precipitación mensual en la España peninsular. *Investigaciones Geográficas*, 26, pp. 41-58.
- Martín-Vide J., Olcina Cantos J., 2001. *Climas y tiempos de España*. Editorial Alianza: Madrid, España.
- Meseguer-Ruiz, O., Olcina Cantos, J., Sarricolea, P. & Martín-Vide, J., 2017. The temporal fractality of precipitation in mainland Spain and the Balearic Islands and its relation to other precipitation variability indices. *International Journal of Climatology*, 37(2), pp. 849-860.
- Nieto Liñán S., Nanía L., Moñino Ferrando A. y Herrero Lantarón J., 2004. *Modelos de precipitación por eventos*. Centro Andaluz de Medio Ambiente, Universidad de Granada.
- Pabón, D., 1997. Variabilidad climática. Organización Meteorológica Mundial. *Técnicas Agrometeorológicas en la Agricultura Operativa de América Latina*. Ed. OMM, Ginebra, Suiza, pp. 99-103.
- Patrick, N., Stephenson, D., 1990. Spatial variation of rainfall intensities for short duration storms. *Hydrological Sciences –Journal– des Sciences Hydrologiques*, 35, pp. 667-680.
- Pulido Fernández, M., Schnabel, S., 2010. La disponibilidad de agua en explotaciones de ganadería extensiva, En: Schnabel, S., Lavado Contador, J.F., Gómez Gutiérrez, Á., García Marín, R. (Eds.) *Aportaciones a la Geografía Física de Extremadura con especial referencia a las dehesas*. Fundicotex. Cáceres, España, pp. 221-235.

- Rodríguez-Puebla, C., Encinas, A.H., Nieto, S., Garmendia, J., 1998. Spatial and temporal patterns of annual precipitation variability over the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 18, pp. 299-316.
- Schellart, A.N.A., Shepherd, W.J., Saul, A.J., 2012. Influence of rainfall estimation error and spatial variability on sewer flow prediction at a small urban scale. *Advances in Water Resources*, 45, pp. 65-75.
- Schnabel, S. 1998. La precipitación como factor en los procesos hidrológicos y erosivos. Análisis de datos de Cáceres capital. En: Schnabel, S.; Gómez Amelia, D. & Ceballos, A. (1998): *Hidrología y Erosión del suelo*. Norba, Revista de Geografía, Universidad de Extremadura, Cáceres, 23-34, pp. 137-153.
- Shannan, L., 1976. Rainfall and runoff relationships in small watersheds in the Avdat region of the Negev desert highlands. *Ph. D. Tesis*. Hebrew University, Jerusalem.
- Sharon, D., 1970. Arcal patterns of rainfall in a small watershed. Symposium Results of Research on Representative and Experimental basins. *International Association of Hydrological Sciences*, 96, pp. 3-11.
- Sharon, D., 1974. The spatial pattern of convective rainfall in Sukumaland, Tanzania: A statistical analysis. *Archiv fuer Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B*, 22, pp. 201-218.
- Shaw, E.M., 1988. *Hydrology in Practice*. Van Nostrand Reinhold (International), Great Britain.
- Tase, N., 1976. Area-deficit-intensity characteristics of droughts. Colorado State University, Fort Collins, Colorado, *Hydrology Papers*, 87.
- Vicente Serrano, S.M., López Moreno, J.I. y Beguería Portugués, S., 2014. Hidrología ambiental: el papel de la gestión humana del territorio en el ciclo hidrológico continental y en los recursos hídricos. En: Arnáez J et al. (eds.), *Geoecología, cambio ambiental y paisaje: homenaje al profesor José María García Ruiz*, pp. 145-172.
- Vischel, T. and Lebel, T., 2007. Assessing the water balance in the Sahel: Impact of small scale rainfall variability on runoff. Part 2: Idealized modeling of runoff sensitivity, *Journal of Hydrology*, 333(2), pp. 340-355.
- Von Storch H., Zorita E., Cubasch V., 1993. Downscaling of global climate change estimates to regional scales: an application to Iberian rainfall in wintertime. *Journal of Climate*, 6, pp. 1161-1171.
- Ward, R.C. & Robinson, M., 1990. *Principles of Hydrology*. Mc Graw-Hill, London.

