

# EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN Y SU DESFASE EN SAN FERNANDO

José A. LÓPEZ DÍAZ

*Sección de Técnicas Climatológicas, Instituto Nac. de Meteorología.  
Camino de las Moreras s/n, Ciudad Univeritaria, Madrid. jalopez@inm.es*

## RESUMEN

Se presentan y definen un índice concentración de la precipitación, el IDMA, así como el desfase de la precipitación en un año para series de precipitación mensual. Estos índices se aplican a la serie de precipitación de San Fernando (1839-2000). La concentración de la precipitación anual en San Fernando muestra una tendencia creciente significativa al 1 %. Existen diferencias significativas entre años secos y húmedos tanto en cuanto al valor del IDMA, que denota más concentración de la precipitación en los años húmedos, como en cuanto al desfase, más adelantada la precipitación en estos años. El desfase de la mayor parte de los años cae en diciembre o enero. Efectuando un análisis de tendencias del IDMA para años clasificados de acuerdo con su desfase se observa que la tendencia se concentra en los años con desfase en enero, y en estos es muy pronunciada.

**Palabras clave:** concentración de la precipitación, desfase de la precipitación, régimen de precipitación anual.

## ABSTRACT

*An index for the concentration of the precipitation, the IDMA, as well as the lag of the precipitation in the year for monthly precipitation series are introduced and defined. These indices are applied to the precipitation series of San Fernando (1839-2000). The concentration of the annual precipitation shows an increasing trend significant at the 1% level. There are significant differences between dry and wet years in the value of the IDMA, with wet years having more concentrated precipitations, and also in the lags, with wet years receiving the precipitation earlier in the year. For a majority of the years the lags fall in December or January. Analysing the trends in the IDMA after classifying the years according to their lags shows that the trend concentrates itself in the years with lag in January, and in these years the trend is very pronounced.*

**Key words:** concentration of the precipitation, lag of the precipitation, annual precipitation regime.

## 1. DEFINICIONES Y METODOLOGÍA

Para una serie de  $m$  precipitaciones mensuales consecutivas  $R_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ , definimos la dispersión mediante

$$D(R_i) = \sum_{i=1}^m R_i |i - O|$$

donde  $O$  representa el centro temporal de la serie,  $O = (m + 1)/2$  (si  $m$  es impar el centro temporal caerá en el mes central de la serie, si  $m$  es par el centro temporal caerá entre los dos meses

centrales). El índice de dispersión es entonces una medida normalizada de la dispersión, obtenida dividiendo la dispersión de la serie de precipitaciones mensuales por la dispersión correspondiente a una precipitación mensual uniforme igual a la media caída en los  $m$  meses:

$$ID(R_i) = \frac{D(R_i)}{D(\bar{R})}$$

Este índice varía entre 0 (precipitación concentrada en el mes central y  $m$  impar, si  $m$  es par es un poco superior a cero) y 2 (precipitación concentrada en los meses inicial o final y  $m$  grande), y toma el valor 1 para una serie de valores iguales.

Consideremos ahora una serie de precipitaciones mensuales  $R_i$  a lo largo de varios años sucesivos en una estación. Podemos entonces para un valor de  $m = 12$  (esto es, un año) calcular el índice de dispersión para grupos sucesivos de 12 precipitaciones mensuales. Este índice de dispersión móvil mostrará a su vez una oscilación anual, de tal forma que a lo largo de 12 meses tendrá un máximo valor y un mínimo. Al valor mínimo en periodos de 12 meses consecutivos lo denominaremos índice de dispersión mínima anual, IDMA, correspondiente al año en cuestión. De acuerdo con esta definición, cuanto menor sea este índice de dispersión mínima, más concentrada alrededor del mes central estará la precipitación caída en los 12 meses considerados. Por otra parte la posición de este mes central nos define el desfase o retraso de la precipitación en el año considerado. El desfase o retraso es por tanto el mes del año alrededor del cual se puede considerar con mayor razón que la precipitación se ha acumulado.

Una pequeña dificultad es que para  $m = 12$  el índice de dispersión queda centrado, como se comentó anteriormente, entre dos meses sucesivos. Para centrarlo en un mes determinado se ha aplicado un filtro de medias móviles de amplitud 2 a la serie, esto es, se ha generado la serie semisuma de cada dos valores sucesivos, que sí está centrada en un mes determinado.

Este índice de dispersión mínima anual es similar al índice de concentración empleado en LÓPEZ DÍAZ (1999). El concepto es esencialmente el mismo, aparte diferencias en la normalización. Sin embargo ambos índices se diferencian en que el IDMA se define a partir de una dispersión móvil de grupos de 12 meses consecutivos, mientras que el índice de concentración se define para un particular grupo de 12 meses, que se consideran distribuidos sobre un círculo (o repetidos de forma periódica). Por tanto el IDMA no contiene ningún elemento de arbitrariedad en cuanto al origen del año hidrológico, mientras que el índice de concentración fija el origen y fin de cada año hidrológico, aunque luego por el mecanismo de la repetición periódica aludido reduce en un grado importante esta arbitrariedad.

Por otra parte el IDMA está relacionado con índices de estacionalidad como el índice SI introducido por WALSH y LAWLER (1981), y aplicado recientemente por SUMNER *et al.* (2001) al estudio de la estacionalidad en la zona costera Este y Sur de España. Este índice de estacionalidad es una medida estandarizada de la desviación en valor absoluto de la precipitación de cada mes respecto a la media anual. Para un régimen anual de precipitaciones predominantemente monomodal (como en la estación de San Fernando analizada en el presente artículo) los años con precipitación más concentrada en unos pocos meses cerca del máximo modal darán valores altos del índice de estacionalidad y valores bajos del IDMA. Sin embargo el IDMA es sensible a la

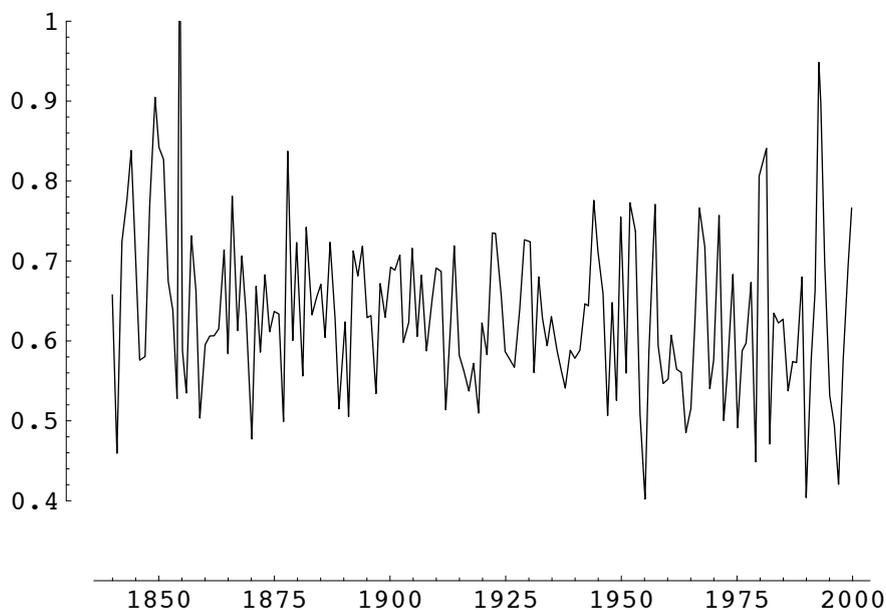


Figura 1: Serie temporal del IDMA de San Fernando.

posición concreta en el año de los meses donde se acumula la precipitación, mientras que el de estacionalidad SI no. Dicho de otra forma, si se permutan arbitrariamente los meses en los que caen las 12 precipitaciones anuales deja invariante al SI, pero no al IDMA (en general). Además el índice de dispersión mínima nos da información acerca de la posición del punto del año en que se puede considerar que se concentran las precipitaciones (el desfase antes definido).

## 2. EL IDMA EN SAN FERNANDO

La serie del IDMA correspondiente a la serie de precipitaciones mensuales de San Fernando (1839-2000, la más larga de España, homogénea en cuanto a los totales anuales (ver ALMARZA *et al.*, 1996) presenta una tendencia decreciente significativa al 1% ( $p$ -valor = 0.010) con el test de Mann-Kendall, con una pendiente de la recta de regresión igual a 0.042/100 años. Esto significa que existe una tendencia hacia una mayor concentración de la precipitación alrededor de un mes, lo cual es coherente con las conclusiones de LÓPEZ DÍAZ (1999). En este trabajo también se mostró que la concentración de la precipitación en San Fernando era la mayor de las 14 estaciones distribuidas sobre la Península y Baleares analizadas. En la figura 1 se observa que la variabilidad del IDMA es mayor al principio y final de la serie, y menor en el centro. De hecho dividiendo el intervalo temporal cubierto por la serie (unos 160 años) en tres trozos iguales, las desviaciones típicas del IDMA son respectivamente 0.12, 0.06 y 0.12, con un valor para la serie completa de 0.10.

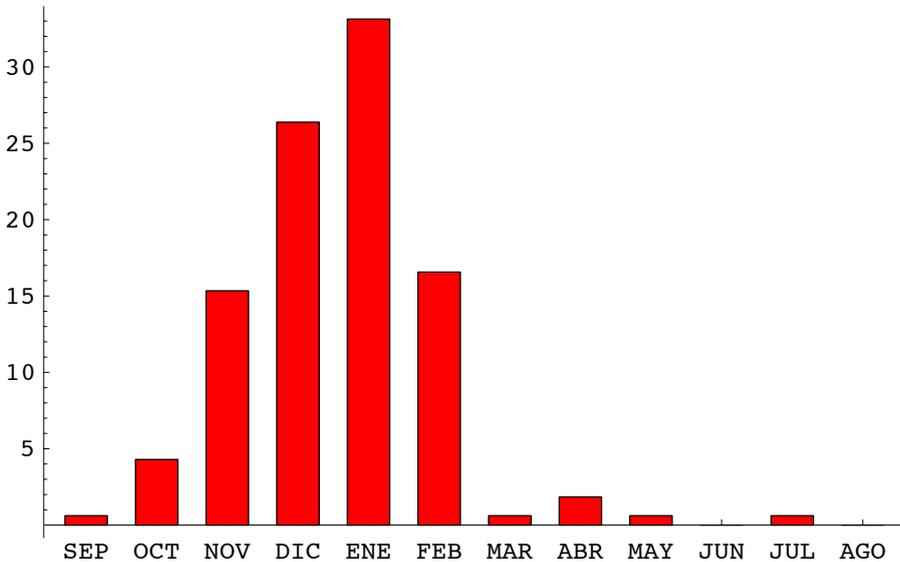


Figura 2: Histograma de la distribución (en %) de años según desfases.

La figura 2 es un histograma para las frecuencias relativas (en %) de los desfases correspondientes a cada año (hemos definido arriba el desfase como el mes alrededor del cual se alcanza el mínimo que corresponde al IDMA). Un tercio de los años aproximadamente tienen el desfase en enero, seguido por un 27 % de los años en diciembre. La distribución está entonces bastante concentrada en estos dos meses invernales, que junto con noviembre y febrero contienen a la gran mayoría de los años.

### 3. DIFERENCIAS ENTRE AÑOS HÚMEDOS Y SECOS

Al ser el IDMA y el desfase descriptores bastante sensibles a las peculiaridades de la forma del régimen anual de precipitaciones anual, cabe conjeturar que se presenten diferencias apreciables entre los años húmedos y los secos, al venir condicionada la precipitación por rasgos de la circulación sinóptica dominante a gran escala. Y en efecto existen diferencias significativas entre los años húmedos (definidos aquí como aquellos con precipitación superior a la mediana, 522 mm) y los secos en cuanto a diversas propiedades relacionadas con el IDMA. En primer lugar mientras la media del IDMA para toda la serie completa es 0.635, la media del IDMA para los años húmedos es 0.610, mientras para los secos es de 0.667, diferencia altamente significativa estadísticamente ( $p$ -valor del test de la  $t$  de Student 0.0005). Por tanto la precipitación en los años húmedos está significativamente más concentrada que en los secos. Además las desviaciones estándar del IDMA son significativamente mayores en los años secos ( $\sigma = 0,122$ ) que en los húmedos ( $\sigma = 0,083$ ), el  $p$ -valor para el test de la razón de varianzas es 0.0002. Ambos resultados son plausibles desde el

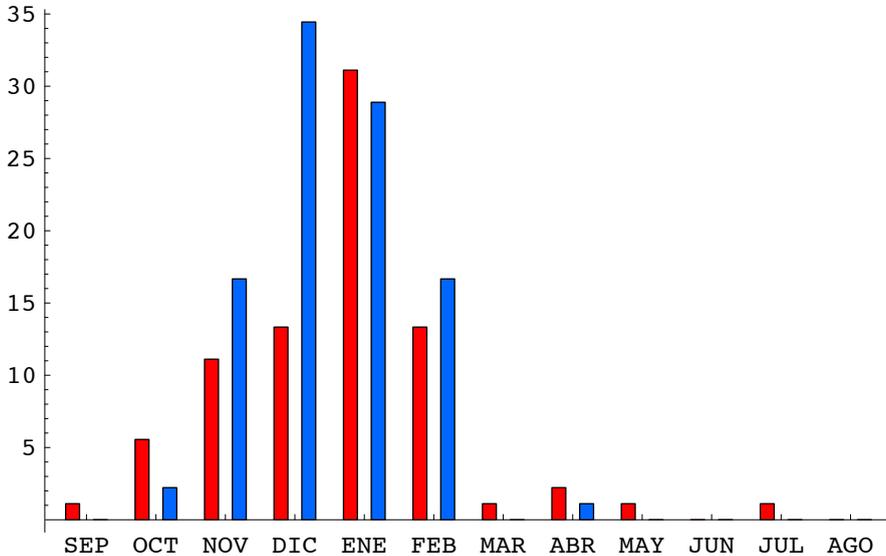


Figura 3: Histograma de la distribución (en %) de años secos y húmedos según desfases.

punto de vista climatológico ya que los años secos suelen exhibir un comportamiento más irregular que los húmedos. El menor valor del IDMA en años húmedos significa que en estos el aumento de precipitación es debido fundamentalmente a episodios lluviosos concentrados en el tiempo (en los meses invernales fundamentalmente), sin que la precipitación caída en el resto de los meses del año aumente correlativamente.

La distribución de los retrasos también es diferente en ambas clases de años. La figura 3 es un histograma análogo al de la figura 2 para los años secos y los años húmedos. Llama la atención la acumulación de desfases en enero para los años secos con relación a la de los demás meses. Mientras el porcentaje de años secos con desfase en enero es algo superior al correspondiente al total de los años de la fig. 2 (un 5 % aproximadamente), diciembre cae un 10 %. Para los años húmedos en cambio es diciembre el mes de mayor frecuencia, seguido de enero (lo que invierte el orden del histograma completo, fig. 2 ). Podemos concluir entonces que los años húmedos se nutren de precipitaciones caídas antes en el año en general que los secos y más concentradas en el tiempo. Por tanto tiene sentido, desde un punto de vista estadístico, el esperar, para un año en que ha caído poca precipitación al principio, digamos hasta diciembre, que será probablemente seco, pero en menor medida de lo que cabría esperar proyectando de forma proporcional el déficit al conjunto del año. En efecto, si la reducción fuera proporcional el desfase sería el mismo en años secos y húmedos, pero hemos visto que en los secos se retrasa la precipitación con relación a los húmedos.

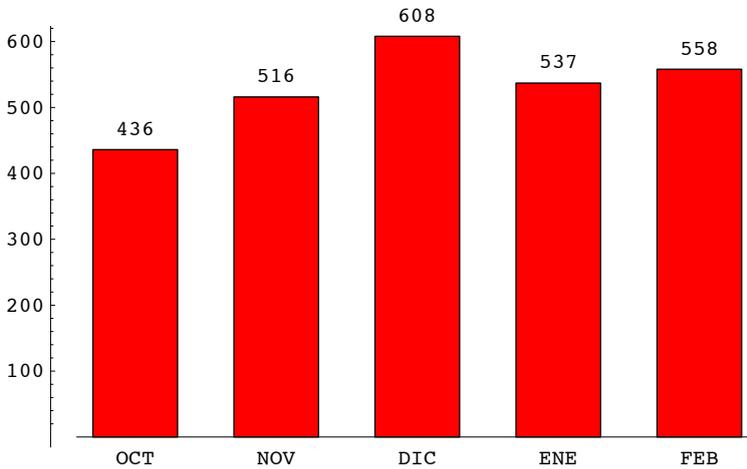


Figura 4: Precipitación media (en mm) de años según los desfases.

Tabla 1: Tendencias del IDMA en años clasificados por los desfases.

MES	Nº AÑOS	IDMA MEDIO	TEND. IDMA (/100 años)	$\alpha$ TEST MANN
NOV	25	0.647	-0.007	0.71
DIC	43	0.586	-0.017	0.44
ENE	54	0.636	<b>-0.095</b>	<b>0.0004</b>
FEB	27	0.623	-0.020	0.42

#### 4. CLASIFICACIÓN DE AÑOS SEGÚN LOS DESFASES

La figura 4 representa las precipitaciones medias caídas en años en que los desfases están en los meses dados en abscisas. Observamos que los años con desfase en diciembre son más lluviosos que aquellos con desfase en enero, con medias iguales a 608 mm y 537 mm respectivamente. Esto está en consonancia con los resultados del párrafo anterior. La tabla 1 contiene, para cada desfase entre los cuatro que se reparten la práctica totalidad de los años, el nº de años con ese desfase (2ª columna), el valor medio del IDMA para esos años (3ª col.), la pendiente de la recta de regresión para los IDMA de años con ese desfase con relación al tiempo (4ª col.) y el nivel bilateral del test de tendencia de Mann-Kendall (5ª col.; ver p. ej. SNEYERS, 1966). Un hecho notable es que mientras noviembre, diciembre y febrero no muestran casi tendencia, los años con desfase en enero tienen una tendencia decreciente en el IDMA muy significativa (al uno por mil).

A la vista de estos resultados cabe concluir que la tendencia creciente hacia la concentración de la precipitación en San Fernando cabe atribuirle casi en exclusiva a la tendencia manifestada por los años con desfase en enero (que son también los de mayor frecuencia). Estos años tienen un

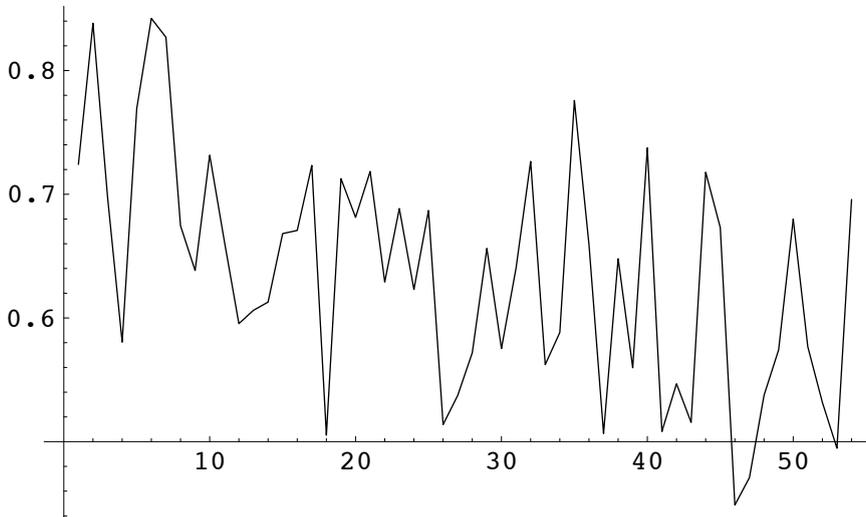


Figura 5: Serie temporal del IDMA para los años con desfase en enero.

IDMA medio superior a los años con desfase en diciembre, lo cual es congruente con lo dicho anteriormente acerca de las diferencias entre años secos y húmedos, pues los primeros presentan una preponderancia de desfases en enero y una dispersión de la precipitación mayor que los años húmedos, en que predominan los desfases en diciembre. La figura 5 muestra claramente la tendencia decreciente del IDMA en años con desfase en enero.

Una comparación de los regímenes pluviométricos medios en el año hidrológico septiembre-agosto en la primera mitad y en la segunda mitad de la serie de precipitaciones de San Fernando permite visualizar el aumento en la concentración de la precipitación (figura 6). Se observa que en el periodo 1839-1920 los 4 meses de mayor precipitación noviembre, diciembre, enero y febrero recibieron menor porcentaje de precipitación que en el periodo 1921-2000. Lo contrario sucede con el resto de los meses, tanto antes de noviembre como después de febrero. Podemos concluir que en San Fernando el porcentaje de precipitación invernal ha aumentado a expensas del porcentaje de otoño y primavera. El descenso relativo de la precipitación primaveral afecta a una amplia zona del SW peninsular (CORTE-REAL *et al.*, 1998).

Como era de esperar a la vista de las tendencias arriba apuntadas este cambio en los regímenes pluviométricos es más claro si nos limitamos a años con desfase en enero en ambas mitades de la serie (figura 7). En este caso las diferencias en los porcentajes de noviembre, diciembre y febrero son claramente superiores, aunque en enero sucede lo contrario. En el resto de los meses más periféricos también son mayores las diferencias (aunque de signo opuesto lógicamente). Tanto en la figura 6 como en la figura 7 la mayor diferencia en porcentaje de precipitación corresponde a diciembre.

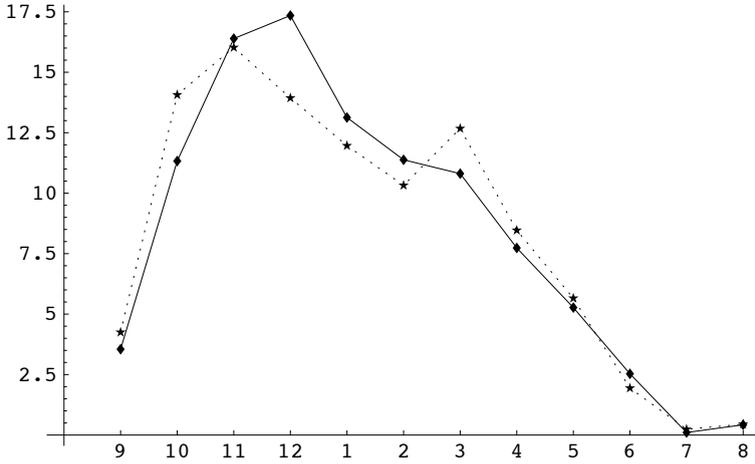


Figura 6: Años hidrológicos promedio en la primera y segunda mitad (línea continua) de la serie

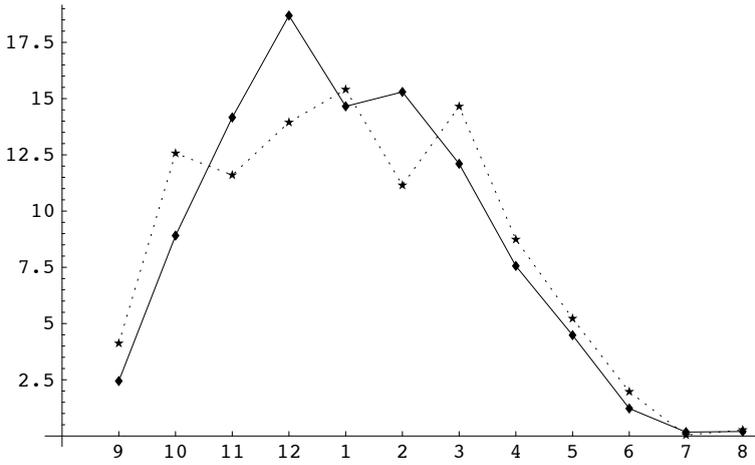


Figura 7: Años hidrológicos promedio en la primera y segunda mitad (línea continua) de la serie para los años con desfase en enero.

## 5. CONCLUSIONES

- La precipitación en San Fernando muestra una tendencia a distribuirse a lo largo del año en una forma más concentrada (IDMA decreciente). Esto se traduce en que el porcentaje de precipitación invernal ha crecido con el transcurso del tiempo mientras que el de precipitación en otoño y primavera ha descendido.
- Los desfases más frecuentes son enero y diciembre.
- En años secos el porcentaje de desfases en enero es muy superior al del resto de los meses. En años húmedos predominan los diciembres. En otras palabras en años secos la precipitación se retrasa con relación a años húmedos.
- En años húmedos la precipitación cae más concentrada en el tiempo que en años secos.
- La tendencia hacia la concentración es muy acusada en años con desfase en enero (un tercio del total).

## 6. REFERENCIAS

- ALMARZA, C., LOPEZ, J.A. y FLORES, C. (1996): *Homogeneidad y variabilidad de los registros históricos de Precipitación en España*. Publicación A-143 del INM.
- CORTE-REAL, J., QIAN, B. y XU, B. (1998): Regional climate change in Portugal: precipitation variability associated with large-scale atmospheric circulation *International Journal of Climatology*, 18, pp. 619-635.
- LÓPEZ DÍAZ, J.A. (1999): Estudio de la distribución de precipitación en el año hidrológico a partir de un índice de concentración y el desfase. En RASO NADAL, J.M. y MARTÍN-VIDE, J. (Eds): *La Climatología española en los albores del siglo XXI*, Pub. de la Asoc. Esp. de Climatología, (Serie A, nº 1), pp. 281-287.
- SNEYERS, R. (1966): *Sur l'analyse statistique des series d'observations*. Publicación 199 de la OMM.
- SUMNER, G., HOMAR, V. y RAMIS, C. (2001): Precipitation seasonality in Eastern and Southern coastal Spain. *International Journal of Climatology*, 21, 2, pp. 219-247.
- WALSH, P.D. y LAWLER, D.M. (1981): Rainfall seasonality: description, spatial patterns and change through time. *Weather*, 36, pp. 201-208.

