

APLICACIÓN DE MÉTODOS DE CENTRALIZACIÓN Y CONCENTRACIÓN AL ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN PLUVIOMÉTRICA INTRAANUAL EN ANDALUCÍA

Leoncio GARCIA BARRÓN¹, Mariano CORZO TOSCANO², Julia MORALES GONZÁLEZ³, Arturo SOUSA MARTÍN³

**Departamento de Física Aplicada II. Universidad de Sevilla*

*** EGMASA. Junta de Andalucía*

**** Departamento de Ecología y Biología Vegetal. Universidad de Sevilla*

leoncio@us.es

RESUMEN

Un aspecto importante en el estudio del clima en entornos mediterráneos, es analizar la variabilidad intraanual de las precipitaciones. La determinación de las épocas de lluvias en fechas determinadas, así como la duración e intensidad de tales épocas, son factores relevantes en la caracterización pluviométrica. Junto a otros factores meteorológicos, juegan un papel fundamental en la generación de la variedad de ecosistemas naturales. En consecuencia, se puede establecer la conexión entre patrones biogeográficos y la distribución intraanual de las precipitaciones.

La irregularidad -en áreas de clima mediterráneo- no sólo de los totales pluviométricos anuales si no también de su acumulación intranual, nos induce a plantear si, subyacente a esta irregularidad, es posible detectar pautas de desplazamientos temporales intraanuales que puedan ocasionar a largo plazo impactos ambientales.

El método de análisis de evolución pluviométrica que proponemos, aplica parámetros de centralización G y concentración R . Están basados, respectivamente, en los momentos de primer y segundo orden de la distribución intraanual de los totales mensuales de precipitación. El elemento básico de análisis lo constituyen los registros de precipitación mensual durante periodos anuales completos. Para detectar la evolución pluviométrica hemos elegido las series de precipitación representativas de las cuencas hidrográficas andaluzas.

Palabras claves: Precipitación intraanual, centralización, concentración, Andalucía, cuencas hidrográficas.

ABSTRACT

An important issue for the study of climate in Mediterranean environments is the analysis of rainfall intra-annual variability. The assessment of the seasons with rain in certain dates, as well as its duration and intensity in such seasons, are relevant factors in rainfall characterisation. Along with other meteorological factors, they play a leading role in the generation of the diversity of natural ecosystems. Consequently, a relationship can be established between biogeographical patterns and the intra-annual distribution of rainfall.

Irregularity—in areas with a Mediterranean climate—in both the total annual rainfall and in its intra-annual accumulation leads us to pose whether, underlying such irregularity, there are behaviours of relative stability that remain unchanged when long periods are considered, or if it

is possible to detect intra-annual temporary displacement patterns that may be the cause of environmental impacts in the long term.

In the method for analysing rainfall evolution proposed herewith, we are applying both centralisation G and concentration R parameters. They are based, respectively, in the first- and second-order momentums of the intra-annual distribution of the total monthly averages of rainfall. The basic elements used in the analysis are the records of monthly rainfall during complete annual periods. In order to detect the rainfall evolution, we have selected the rainfall series that are representative of the Andalusian river basins.

Keywords: Intra-annual rainfall, centralisation, concentration, Andalusia, watersheds.

1. INTRODUCCIÓN

La duración, intensidad y localización de las épocas de lluvias a lo largo del año son factores relevantes en la caracterización pluviométrica de un área geográfica determinada. Multitud de procesos ambientales, sociales, económicos o paisajísticos se encuentran en estrecha vinculación con la distribución pluviométrica intraanual. Es precisamente la posible relación entre la distribución temporal de las precipitaciones a lo largo del año y la distribución espacial de ecosistemas la que origina la realización del estudio a escala andaluza que presentamos. Aporta, así mismo, un elemento útil para establecer criterios de clasificación climática, y constituye un componente para detectar la evolución del clima regional.

Con independencia de los totales anuales, la irregularidad de las precipitaciones en el sur de la Península Ibérica nos plantea, además, si al considerar periodos plurianuales amplios, se mantiene la estabilidad en la distribución a lo largo del año. En caso contrario, habrá que comprobar si se producen desplazamientos temporales de la lluvia, con modificación del perfil anual característico. Diferentes autores han abordado este tema desde distintos planteamientos (López-Díaz 1999, 2001; Martín Vide 2001; García-Barrón, 2004; García Barrón, 2008). Con la metodología empleada se pretende caracterizar directamente la pluviometría anual por medio de un conjunto de tres parámetros (P_n , G_n , R_n) que proporcionen, para cada anualidad, información sintética sobre aspectos complementarios. El parámetro P_n es la precipitación total anual; G_n es un indicador del desplazamiento de la distribución intraanual y se identifica por un valor indicativo de la "fecha central"; R_n muestra la concentración/dispersión de lluvias anuales alrededor de este valor central. Ello permite clasificar un conjunto de observatorios meteorológicos en función de los valores de la terna establecida, o analizar la evolución a lo largo de un periodo interanual por medio de series temporales interanuales en que las variables son los valores obtenidos de cada uno de los parámetros enunciados.

2. AREA DE ESTUDIO Y SERIES DE PRECIPITACIÓN

La región andaluza por su extensión y diversidad participa de diferentes cuencas hidrográficas de primer nivel. Para la evaluación de los recursos hídricos en la comunidad autónoma, tradicionalmente se han considerado las cuencas del Guadalquivir, Sur (recientemente denominada Mediterránea Andaluza), Tinto-Odiel, Guadiana y Segura. (Figura 1). La cuenca del Guadalquivir se extiende por más de 57.000 km², ocupando 2/3 del conjunto de la región. Está orientada en dirección suroeste abriéndose a lo largo del Valle del Guadalquivir hasta desembocar en el Océano Atlántico. Esta cuenca está regulada por un elevado número de

embalses. La cuenca Mediterránea Andaluza está formada por un gran número de subcuencas que, partiendo de los sistemas béticos, vierten sus aguas directamente al mar Mediterráneo. Sus recorridos son cortos, de gran desnivel, con caudales muy irregulares y de difícil regulación. Mantenemos la denominación tradicional de “cuenca Sur”. En estudios ambientales, por razones prácticas, frecuentemente se agrega la parte andaluza de la cuenca del Guadalquivir a la adyacente del Tinto y Odiel, que vierten paralelamente sus aguas en el Océano Atlántico. Los cauces discurren de norte a sur desde el sector occidental de Sierra Morena. El comportamiento pluviométrico de la zona es similar a la de Bajo Guadalquivir y Sierra Norte sevillana, por lo que dada su menor extensión y por claridad expositiva, se renuncia a un tratamiento diferenciado en este estudio. También se ha prescindido de la cuenca del Segura por su reducida superficie en el territorio de la comunidad andaluza.



Fig. 1. Cuencas hidrológicas de Andalucía

Los datos utilizados son los correspondientes a las estaciones de las redes de observación meteorológica de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) en Andalucía que disponen series de observaciones desde 1950. Los datos mensuales fueron agregados a partir de los datos originales diarios con la exigencia de disponer del 100% de las observaciones cada mes. Tanto los valores diarios originales como los mensuales derivados, fueron validados en función de sus rangos. Una vez obtenidos los datos mensuales para cada estación se procedió a la espacialización de los correspondientes a cada mes desde enero de 1950 a enero de 2008 utilizando el método *inverse distance weighted*.

Esta metodología de espacialización de datos de precipitación ha demostrado ser adecuada en otros trabajos (Camarillo y Corzo, 2001). Se realizó de forma sistemática con los datos disponibles para cada mes. La disponibilidad y distribución de los datos a lo largo de un periodo de tiempo tan largo es variable. Ha sido posible obtener las diferentes coberturas de precipitación total mensual en Andalucía del periodo estudiado con una resolución espacial de 500 metros. El análisis estadístico de estos ha permitido conocer los valores medios del

conjunto de las cuencas en Andalucía. Las series resultantes han sido utilizadas previamente para obtener indicadores de sequía.

3. FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS

El parámetro de **centralización** G_n representa en cada uno de los n años de observación la posición (fecha) en que los momentos temporales de primer orden distribuidos a lo largo del año son equivalentes al que se generaría si toda la precipitación se hubiera producido en esa única fecha, tomado, en ambos casos, un origen común de referencia. Dado el carácter cíclico de la precipitación intraanual, el origen de la series se ha determinado en función de la simetría del perfil pluviométrico. En el presente estudio el origen anual elegido es el 1 de agosto. Si admitimos la precipitación mensual se comporta como una función discreta puntualmente concentrada en un solo día del mes correspondiente, podemos expresar

$$\Sigma(x_i p_i) = G_n \Sigma(p_i) ; \quad (i = 1, 2, \dots, 12)$$

en que p_i representa la precipitación correspondiente al mes i , x_i el orden del día -en el mes respectivo- desde el origen anual elegido, al cual se le asigna el total mensual correspondiente ($1 < x_1 < 31$; $32 < x_2 < 62$; ; $334 < x_{12} < 365$).

A partir de esta expresión se obtiene para cada año un valor G , el parámetro de centralización por momentos de primer orden, el cual corresponde al ordinal de la fecha que cumple la condición establecida:

$$G_n = \Sigma(x_i p_i) / \Sigma(p_i) ; \quad (i = 1, 2, \dots, 12)$$

Para asignar la fecha de centralización mensual consideramos que la distribución de precipitación en cada uno de los meses es aproximadamente una función lineal tal que su posición intramensual asignada es proporcional a los valores de precipitación de los meses anterior y posterior. Admitimos, así, que, a efecto de cálculo, es adecuada la aproximación de concentrar en un sólo día la precipitación mensual. La utilización directa de la precipitación diaria, en vez de utilizar mecanismos de interpolación para asignar la fecha de precipitación mensual, permitirían precisar los cálculos, si bien, las experiencias previas no han detectado diferencias relevantes en los resultados. Hacemos constar que, en general, no coincide la precipitación total de los subperiodos anterior y posterior a la fecha de centralización, ya que el parámetro G también está determinado por el orden temporal de ocurrencia de la precipitación a lo largo de estos.

El grado de **concentración** pluviométrica R mide la intensidad de la precipitación vinculada a la proximidad al centro. Indica el intervalo teórico, tal que el momento temporal de segundo orden de la precipitación total anual coincide con el momento real resultante de las precipitaciones distribuidas a lo largo del año, tomando en ambos casos el instante G como origen común de tales momentos.

Sea d_i el intervalo entre la fecha x_i de cada uno de los meses y la fecha G_n del centro de precipitación anual obtenido. Definimos la concentración pluviométrica como la raíz cuadrada de la suma de los momentos temporales de segundo orden dividido por la precipitación total anual

$$\Sigma(d_i^2 p_i) = R_n^2 \Sigma(p_i) ; \quad R_n = [\Sigma(d_i^2 p_i) / \Sigma(p_i)]^{1/2}$$

Valores bajos indican que la pluviometría está concentrada en los meses cercanos (anteriores o posteriores) a la fecha G , y valores altos que se encuentra distribuida a lo largo del año. Proporciona, por tanto, información complementaria a la que ofrece la centralización y permite valorar la dispersión pluviométrica respecto de tal posición central.

Los registros básicos son las series mensuales de precipitación. El tratamiento indicado genera, a su vez, dos conjuntos de resultados que constituyen nuevas series temporales de las variables G y R . Estas son las directamente analizadas para comprobar su estabilidad temporal en la media y en la varianza. La metodología propuesta permite comprobar la capacidad para determinar satisfactoriamente la evolución intraanual de la precipitación. La consideración directa de la precipitación diaria, en vez de utilizar mecanismos de interpolación para asignar la fecha de precipitación mensual, permitirá precisar los cálculos, si bien, las experiencias previas no han detectado diferencias relevantes en los resultados.

4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

A partir de la precipitación mensual obtenemos, en cada una de las cuencas objeto de estudio, por aplicación de la metodología indicada, la serie anual G_n del parámetro de centralización ($1951 \leq n \leq 2007$). Así mismo, calculamos el parámetro G_c , para el promedio de los correspondientes valores mensuales del conjunto de la serie de precipitación; esto nos permite determinar el perfil pluviométrico y la fecha de central característica de cada cuenca (Figura 2). La precipitación media anual de periodo de observación es mayor en la cuenta del Guadalquivir (659 l/m^2) que en la cuenca Sur (533 l/m^2), sin embargo las distribuciones mensuales responden a similares perfiles: forma triangular asimétrica con vértice superior en diciembre. En la misma figura también se ha representado la fecha central G_c , coincidente con el 18 de enero en la cuenca del Guadalquivir y con 14 de Enero en la cuenca Sur. Estos resultados están conformes con los obtenidos en otros estudios para observatorios de suroeste de la Península Ibérica (García-Barrón, 2008), y sirven de contraste con otros que presentamos posteriormente en este mismo estudio.

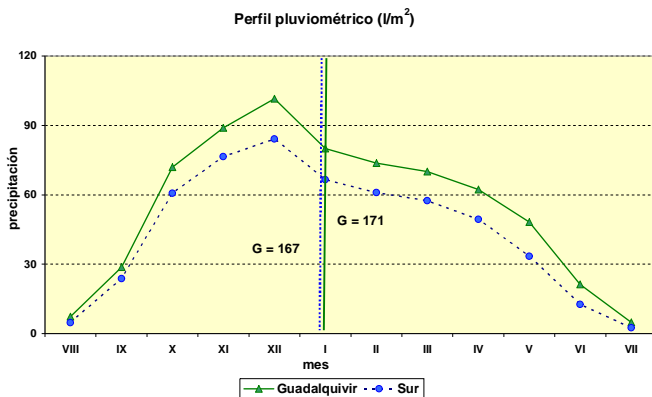


Figura 2. Perfil pluviométrico intraanual con indicación del parámetro de centralización

Para establecer la evolución pluviométrica intraanual, calculamos las diferencias de cada parámetro anual G_n respecto del parámetro central G_c característico del periodo completo de estudio, lo que da lugar a la serie anual de desviaciones para 57 años observados. Estas series se han representado en la figura 3. Denominaremos anualidad **VOI** a aquellas años en el centro G_n está desplazado hacia el origen temporal (con desviación negativa), y anualidad **IPV** a las que G_n está retrasado con respecto a G_c (desviación positiva).

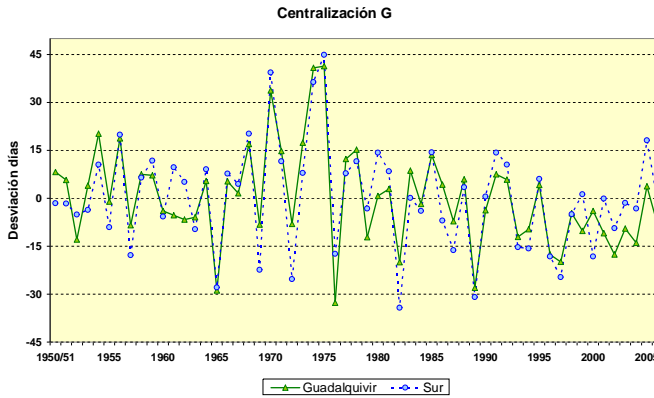


Figura 3. Evolución de las desviaciones anuales del parámetro de centralización G_n

Interesa conocer si la época lluvia de influye en el total de precipitación anual. La figura 4 muestra la dispersión entre las desviaciones del parámetro de centralización G_n y las desviaciones correspondientes de la precipitación total anual P_n (respecto de sus respectivos valores promedios). Se observa una ocupación espacial marcadamente azarosa, sin organización lineal, correspondiente a un coeficiente de correlación -0.12.

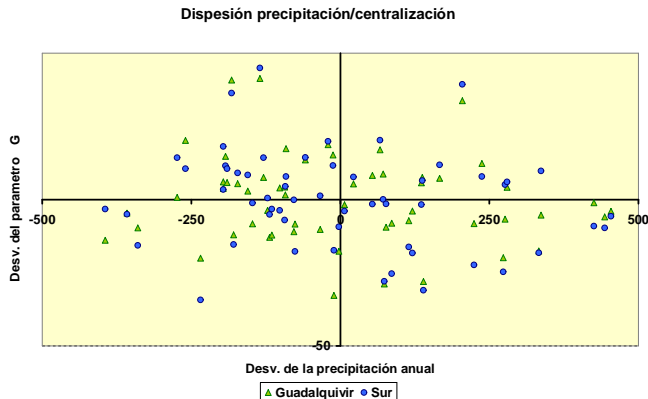


Figura 4. Dispersión por pares de los valores anuales de desviación del parámetro G_n y de desviación de la precipitación P_n

Los puntos localizados en la mitad superior [inferior] indican años con desplazamiento IPV [VOI] de la precipitación; puntos localizados en la mitad izquierda [derecha] indican años relativamente secos [húmedos]. Interpretamos que no existe correspondencia entre la precipitación total anual y su distribución a lo largo del año.

Seleccionamos los años en los cuales la desviación G_n respecto de G_c es, en términos absolutos, superior a quince días. Los perfiles de precipitación intraanual correspondientes (figura 4) muestran que se producen comportamientos disimétricos en sentidos opuestos: la contribución al desplazamiento VOI es progresivo a lo largo del otoño, mientras que el desplazamiento IPV es debido fundamentalmente al incremento de lluvias de abril, con menor incidencia de los meses de febrero y marzo. Dado que la fecha de centralización anual coincide con mediados de enero la repercusión de este mes es poco relevante.

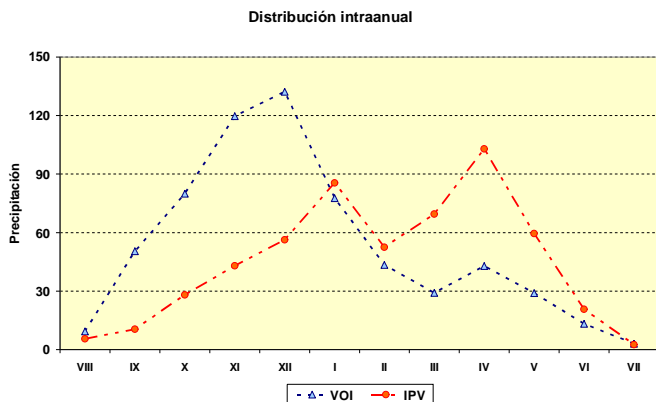


Figura 5. Perfil intranual de anualidades en que la desviación de la centralización está fuera de los intervalos (-15, 0) [VOI] y (0,+15) [IPV].

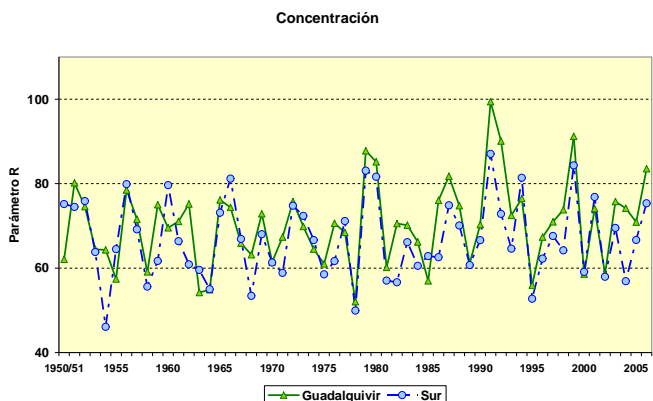


Figura 6. Evolución anual del parámetro de concentración R_n

La figura 6 muestra los valores del parámetro de concentración para ambas cuencas. Se denota una amplia variabilidad en la series anuales de la concentración pluviométrica R_n , si bien la irregularidad es más acentuada en las tres últimas décadas con incremento de los valores máximos relativos.

El interés fundamental del estudio planteado es conocer la evolución temporal de la distribución intraanual de precipitaciones. De los resultados representados en las figuras 3 y 6 se puede deducir el paralelismo evolutivo de las series de centralización G_n y concentración R_n correspondientes a ambas cuencas, con marcada coincidencia temporal de los valores extremos positivos o negativos, y menor correspondencia relativas entre las desviaciones bajas. El coeficiente de correlación entre los valores de ambas series del parámetro de centralización es 0,82 y 0.76 en el parámetro de concentración

Se observan las marcadas oscilaciones de las desviaciones anuales de G_n durante el periodo 1965-85 en que, consideradas ambas cuencas, casi el 50 % de los valores están fuera del intervalo ± 15 días. En los tres últimos lustros la amplitud de las oscilaciones son menores y se incrementa la frecuencia de desviaciones negativas, de modo que el 70 % de las anualidades se clasifican como VOI, con incremento relativo de las lluvias otoñales. Para resaltar las estas características evolutivas hemos generado la gráfica de desviaciones acumuladas del parámetro G_n (figura 7). Segmentos ascendentes [descendentes] indican desviaciones positivas [negativas] del parámetro de centralización. Destaca el paralelismo de las líneas representativas de ambas cuencas andaluzas, lo que confirma la simultaneidad evolutiva de la distribución pluviométrica indicada. Se observa: a) un tramo inicial oscilante alrededor de un eje horizontal; b) un tramo ascendente con dientes de sierra en la década 1965-75 correspondiente anualidades con desplazamiento IPV, c) tramo irregular hasta el año 1988; d) una fase final descendente indicativa de la existencia de anualidades consecutivas en que ha producido un adelantamiento de la fecha anual de centralización G_n respecto de la fecha G_c característica del conjunto del periodo estudiado.

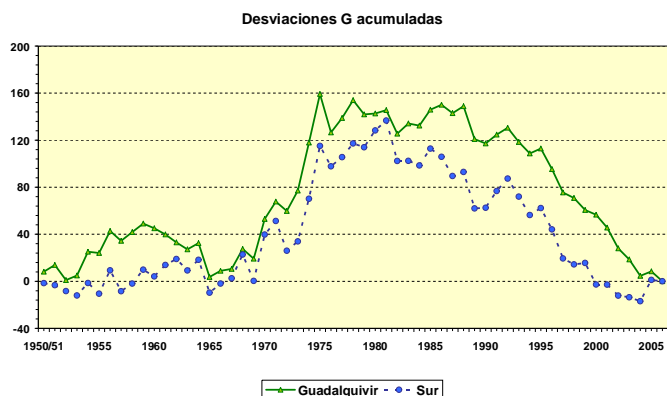


Figura 7. Evolución de las desviaciones acumuladas del parámetro de centralización G_n

Hemos seleccionado la década 1995/2004 en que se mantiene el predominio continuo de anualidades con desplazamiento negativo del parámetro de centralización, y la década 1966/75

en que el predominio es en sentido contrario. El análisis comparado (figura 8) permite detectar los comportamientos en la pluviometría mensual de estos subperiodo decenales frente al periodo total de observaciones 1950/2007. Obsérvese la aportación mensual de las precipitaciones al total anual con marcada incidencia de los meses de diciembre para el desplazamiento VOI, y de febrero, marzo y abril para el desplazamiento IPV, así como la estabilidad en los meses de octubre y mayo.

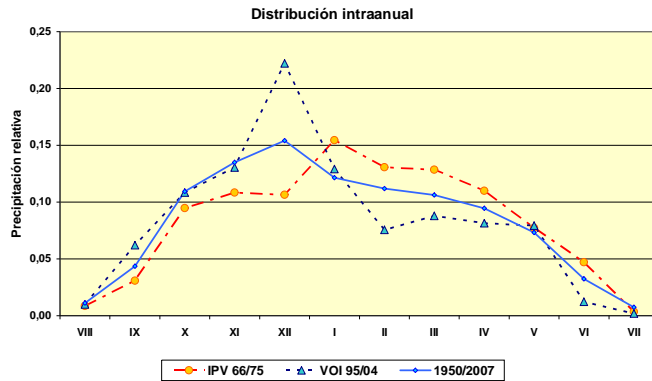


Figura 8.- Análisis comparado de la distribución mensual de precipitación de subperiodos decenales VOI e IPV frente periodo total de observaciones.

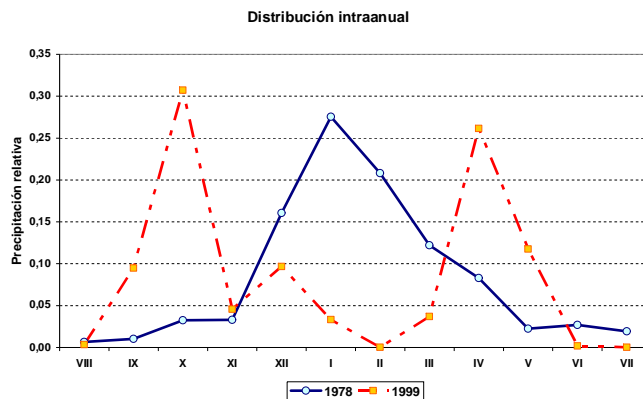


Figura 9.- Análisis comparado de la distribución mensual de precipitación en los años de mayor y menor concentración en la cuenca del Guadalquivir

La figura 9 muestra la diferencia de comportamiento entre el año 1978/79 y el año 1999/2000, en los que se obtienen el menor y mayor valor del parámetro R_n en la cuenca del Guadalquivir. Si bien las precipitaciones totales anuales y los parámetros de centralización respectivos son aproximados y cada año responde a una presentación casi simétrica, las distribuciones pluviométricas intraanuales son diferentes. El perfil de distribución en el primer caso es concentrado alrededor de la fecha central: unimodal con máximo invernal; en el segundo caso,

el perfil es bimodal -con valle invernal y máximos relativos en octubre y mayo- y alta dispersión.

Del total de años del periodo de estudio, a modo de ejemplo, incluimos las termas de parámetros (P_n , G_n , R_n) correspondientes:

1978: (658-12, 171+15, 51) ; 1991: (658-34, 171-10, 91).

5. CONCLUSIONES

Hemos puesto de manifiesto que el método empleado es válido para caracterizar la precipitación anual de forma sintética por medio de la terna de parámetros (P_n , G_n , R_n).

Debemos destacar la apreciable simultaneidad evolutiva de estos parámetros y, en consecuencia, la simultaneidad de las épocas de lluvia anuales en ambas cuencas. Aún cuando con frecuencia la génesis sinóptica que da lugar a las precipitaciones en las áreas oriental y accidental de Andalucía no sean coincidentes, a los efectos de la distribución pluviométrica intraanual no existe base para establecer que las cuencas atlántica y mediterránea andaluzas respondan a distintos patrones evolutivos. Con independencia de la mayor influencia de las precipitaciones en la cuenca del Guadalquivir de los vientos cálidos y húmedos que se desplazan desde el suroeste oceánico, con base en las precipitaciones mensuales la metodología aplicada no permite establecer un posible dipolo.

Desde el punto de vista evolutivo, se observa -en el último cuarto de siglo- el desplazamiento mantenido de las precipitaciones hacia diciembre con descenso en febrero-marzo, y mayor irregularidad en la concentración pluviométrica.

6. BIBLIOGRAFÍA

- CAMARILLO NARANJO J.M. Y CORZO TOSCANO, M. (2001): Méthodologie pour le calcul de l'erosivite de la pluie en Andalousie. En *Climat Et Environnement: L'Information Climatique Au Service de la Gestion de L'Environnement*. Colloque Internationale de Climatologie. Num. 14, pp. 221-222
- GARCÍA-BARRÓN L, GONZÁLEZ M, GARCÍA-MURILLO P, SOUSA A (2004) Evolución pluviométrica en el suroeste peninsular: variabilidad y disparidad. En: J.C. García Cerdón et al (eds). *El clima entre el mar y la montaña*. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, serie A nº 4: 283-290
- GARCÍA-BARRÓN L., GONZÁLEZ MI., MORALES J. Y SOUSA A. (2008). Análisis comparado de la evolución pluviométrica intraanual: Lisboa - Gibraltar, 1837/2000. 6ª Asamblea luso-española de Geodesia y Geofísica.
- LÓPEZ-DÍAZ JA. (1999) "Estudio del índice de precipitación en el año hidrológico a partir de un índice de concentración y desfase". En: José M. Raso Nadal y Javier Martín-Vide (Eds.). *La climatología española en los albores del siglo XXI*. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, serie A nº 1, 253-262
- LÓPEZ-DÍAZ JA. (2002) Evolución de la concentración de la precipitación y su desfase en San Fernando. En: J. A. Guijarro et al. (Eds.). *El agua y el clima*. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, Serie A, nº 3: 353-261

MARTÍN-VIDE J. PROHOM M, BOHIGAS M, PEÑA JC, ESTEBAN P, MONTSERRAT D
(2001) “Índices de irregularidad temporal y dimensión fractal de la precipitación anual en España”. *El tiempo del clima*. A. Pérez-Cueva, Ernesto López-Baeza y J. Tamayo (Eds.) Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, serie A nº 2, 157-166