

Distribución probabilística de la precipitación anual en Cataluña

por J. M. RASO NADAL *, P. CLAVERO PARICIO *, y J. MARTÍN VIDE *

Palabras clave:

Año lluvioso; año seco; distribución de los totales pluviométricos; isoyeta; período de retorno; precipitaciones; quintil; variabilidad de las precipitaciones.

Las precipitaciones constituyen, junto con las temperaturas, el elemento climático más importante, por su acción directa sobre el reino vegetal y animal, así como por su incidencia sobre las distintas actividades del hombre (agricultura, ganadería, industria, servicios...). De ahí, el interés en conocer y controlar el agua disponible sobre un determinado territorio de cara a una adecuada organización del espacio.

En este trabajo se analizan las precipitaciones anuales registradas sobre Cataluña, según la información referida al período 1941-1980. Es tradicional en los estudios de geografía el cálculo de la media aritmética desde la introducción de esta técnica a principios del siglo XVIII; con este parámetro se suelen elaborar los distintos mapas de distribución espacial de las precipitaciones. Así lo hemos realizado nosotros para Cataluña (*Atlas Universal Català*, 1983; *Atlas Climàtic de Catalunya*, en prensa). Ahora bien, es evidente que la población estadística constituida por los totales anuales de precipitación presenta una gran variabilidad interanual; la relación entre el valor máximo y el mínimo registrados es siempre superior a dos (2.2 en Poble de Segur, 2.4 en Cabdella, 2.5 en Freser superior, 2.8 en Mollerussa, 2.3 en Engolasters y les Escaldes [Andorra], 2.7 en Lleida), e incluso alcanza el coeficiente 3 en puntos aislados (3.1 en Camarasa) o cuando el período se amplía (3.7 en Barcelona para el período 1860-1980). Así, la precipitación expresada por la media aritmética pierde significación y enmascara una realidad bien distinta en un número importante de años. Este hecho nos ha conducido a un estudio de esta variabilidad, que matice la evaluación realizada por la media aritmética, por un lado, y a la necesidad de efectuar un análisis probabilístico de la información, por otro. Es bien conocido que las curvas de frecuencias de las precipitaciones anuales, en nuestras latitudes templadas, suelen ajustarse correctamente por la ley de probabilidad de Gauss-Laplace o ley Normal.

* Profesor del Departamento de Geografía de la Universidad de Barcelona.

Así, teniendo en cuenta que los mapas constituyen una base esencial de los estudios climáticos, hemos cartografiado tanto algunos índices de variabilidad, como la pluviometría según los parámetros probabilísticos más significativos.

1. LA VARIABILIDAD DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES SOBRE CATALUÑA. AJUSTE MEDIANTE LEY NORMAL

El carácter discontinuo de la variable estadística constituida por las precipitaciones anuales motiva que éstas presenten una gran dispersión en torno a los valores medios. Esto se pone de manifiesto gráficamente al observar los diagramas rectangulares de precipitaciones en un largo período, como el correspondiente a Barcelona de 1860 a 1980 (fig. 1), o al construir los correspondientes histogramas de frecuencias de diversos observatorios (fig. 2). Igualmente, se cuantifica con exactitud mediante el cálculo de la amplitud de la serie y, sobre todo, por la desviación tipo o estándar. La primera establece el recorrido de la serie, entre cuyos extremos se encuentran todos los efectivos o precipitaciones anuales. La desviación tipo σ_x da una aproximación a lo que en promedio se apartan los valores de la media aritmética o «normal».

La figura 3 presenta la distribución de la σ , de las precipitaciones anuales, en milímetros, sobre Cataluña. Es evidente que debido a la compleja gama de factores determinadores de las precipitaciones que se dan sobre este territorio (compleja orografía, situación respecto al bloque peninsular, influencia mediterránea...) resulta di-

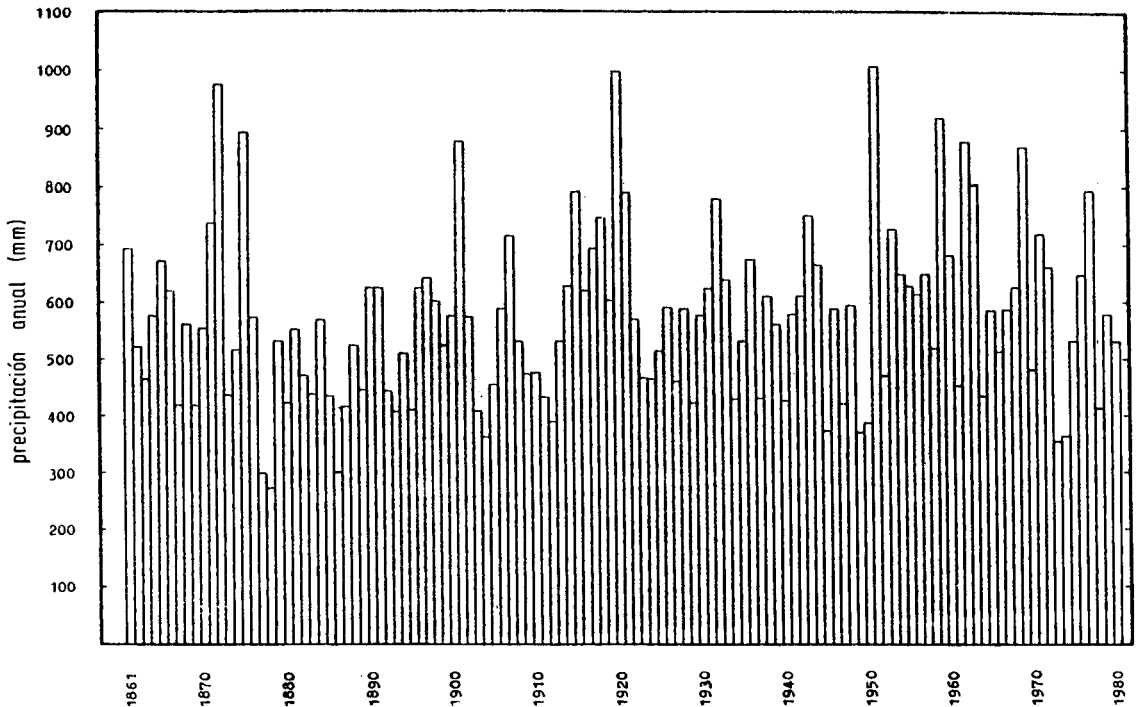


Figura 1. Diagrama rectangular de las precipitaciones anuales en Barcelona (1861-1980).

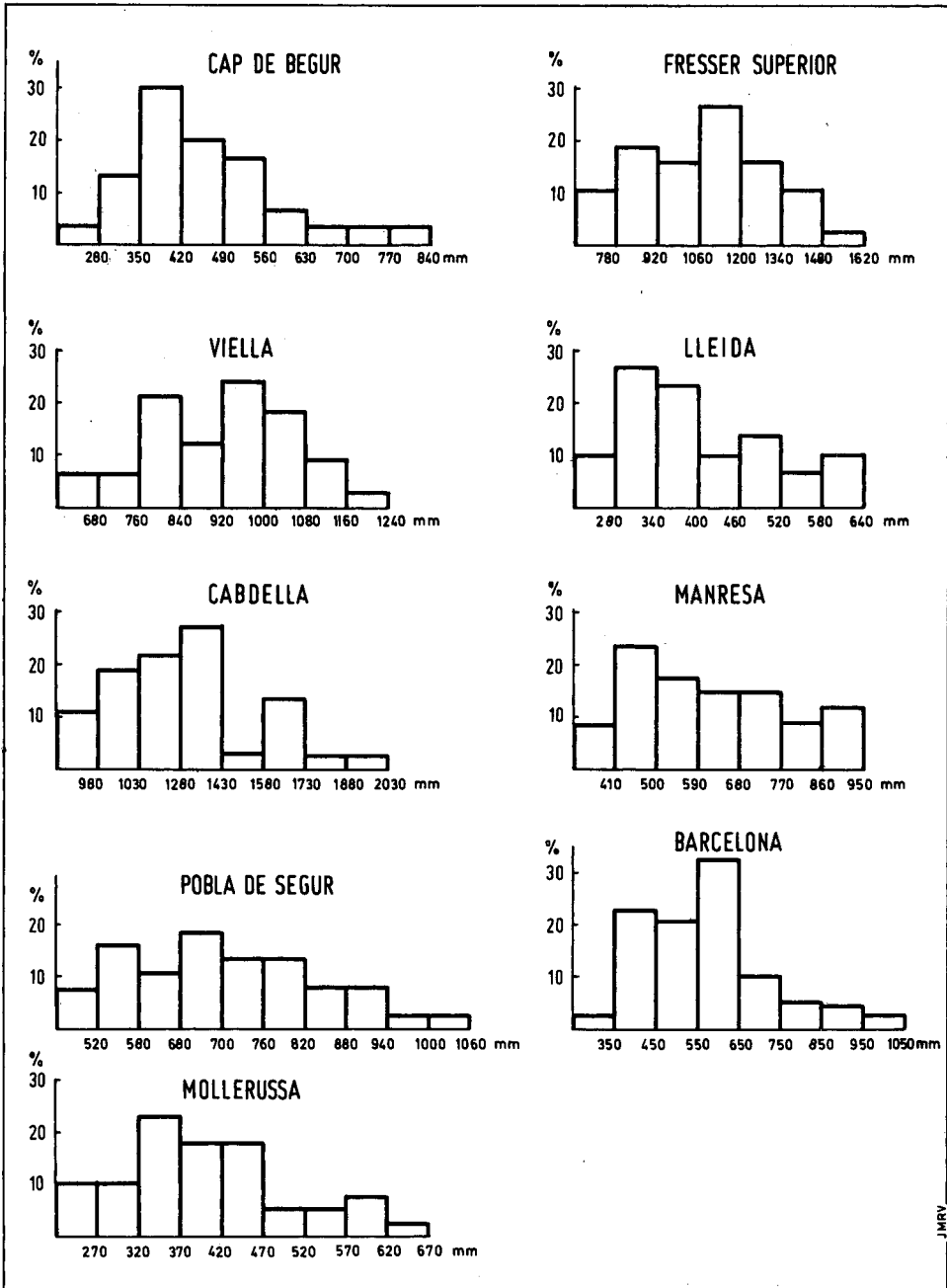


Figura 2. Histogramas de las precipitaciones anuales (frecuencias en porcentajes y precipitaciones en milímetros).

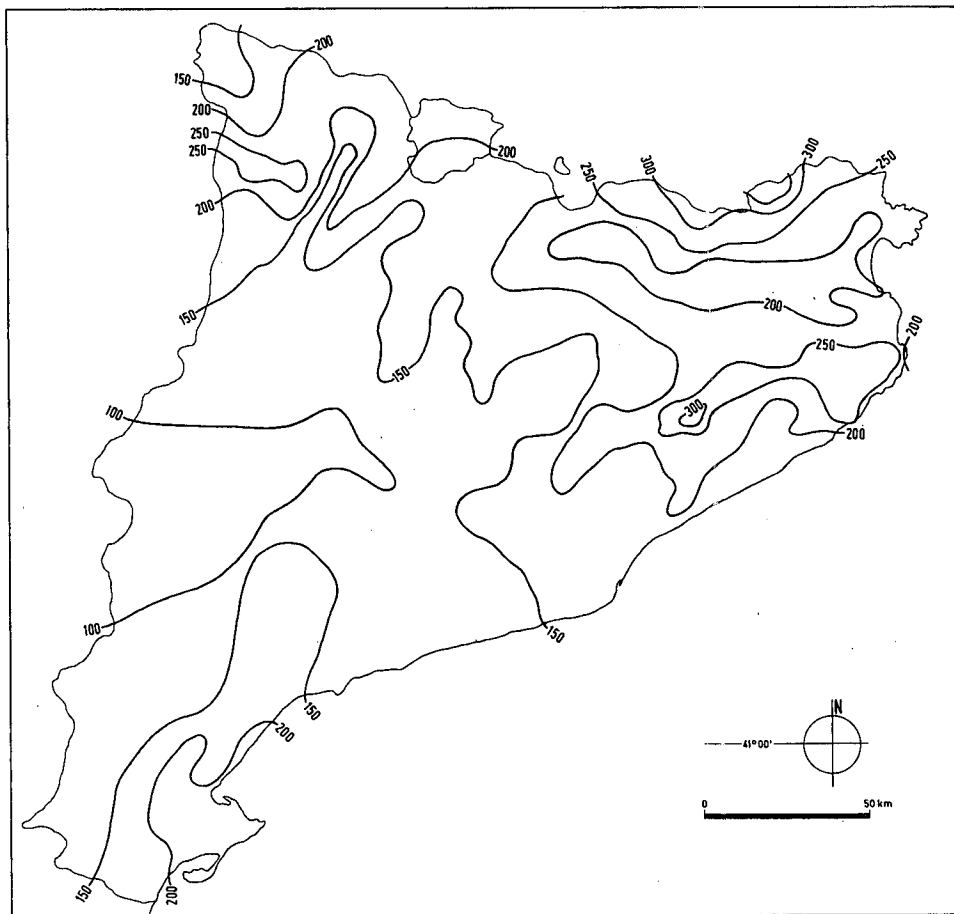


Figura 3. Desviación tipo de las precipitaciones anuales, en milímetros.

ficultoso el trazado de isohietas; a grandes rasgos, equidistancia 50 mm, se distinguen tres sectores:

—Sector central y nordoriental, desde el extremo meridional de la Depresión Prelitoral a los Pirineos más orientales, en que se pasa de algo más de 100 mm en el Tarragonés a más de 300 en las cabeceras del Muga y Fluvià, así como el Montseny. Es un aumento de σ_x aproximadamente paralelo al incremento de precipitaciones, en relación con la orografía y la influencia mediterránea.

—Sector suroccidental, en que la σ_x disminuye desde más de 200 mm en el delta del Ebro, hasta menos de 100 en el sector más occidental de la Depresión Central (70 mm en Lleida, 93 en Serós, 92 en Mollerussa). La influencia mediterránea va disminuyendo hacia el interior y con ella decrecen las precipitaciones y también la variabilidad.

—El sector noroccidental, donde la σ_x va aumentando desde la Depresión Central a los valles de Boí y Cabdella, en que se aproxima a los 300 mm, para volver a disminuir de forma nítida en la Vall d'Aràn a menos de 150, marcando con claridad

la divisoria de aguas la diferencia entre la regularidad característica de los climas oceánicos y la mayor variabilidad de los mediterráneos.

Es evidente que la σ_x aumenta con la media, es decir, las regiones de elevada pluviometría no implican una disminución absoluta de la dispersión, sino que, por el contrario, ésta alcanza mayor dimensión, pues la existencia de altos valores pluviométricos en algunos años no hace desaparecer las pluviometrías muy inferiores a las medias o normales.

Es por ello que el parámetro mejor indicador de la variabilidad sea el coeficiente de variación de Pearson, que expresa en porcentajes, la razón entre la desviación tipo y la media, de modo que un alto índice expresa gran variabilidad y, por tanto, posibilidad de precipitaciones extremas, mientras que un índice bajo es fruto de precipitaciones muy próximas siempre al valor medio. En el estudio realizado por Biel (citado por Petterssen, 1968) para todo el planeta, asigna a nuestra región coeficientes entre 20 y 25, propios de los climas mediterráneos, que supone un grado de seguridad reducido y, por tanto, posibilidad elevada de sequías prolongadas. Sin embargo, en nuestro trabajo hemos obtenido valores que extreman estos umbrales, consecuencia, sin duda, del mayor número de observatorios analizados que permite una distinción de matices regionales, no considerados a la escala planetaria del trabajo de Biel. Es decir, la posibilidad de presencia de sequías es todavía más elevada de la atribuida por él en algunos sectores, en general próximos a la costa. En efecto, la figura 4 muestra cómo aparecen unos sectores con coeficientes claramente superiores:

—En torno al delta del Ebro en que se alcanza el coeficiente 40 en Amposta y 34 en el observatorio del Ebro (Roquetes), valores propios de climas semiáridos y que, por ello, reducen notablemente la eficacia de las precipitaciones medias.

—En el sector nordeste de Cataluña, tanto en la costa, como en las estribaciones montañosas próximas, se obtienen coeficientes superiores a 30, destacando 38 en Figueres, 40 en St. Feliu de Guíxols, 36 en Begur y Roses, 34 en Gualba de Dalt, 32 en St. Celoni...

Por el contrario, se obtienen coeficientes inferiores a 20 en amplios sectores de la cordillera Transversal y sierra del Cadí, así como en la Vall d'Aràn. Igualmente destaca el bajo coeficiente de Lleida, 19, con un volumen pluviométrico medio muy reducido, 375 mm anuales.

Esta mayor variabilidad pluviométrica que afecta a las comarcas costeras mediterráneas hay que atribuirla, por una parte, a la *föhnización* de los flujos zonales que, al perder contenido higrométrico tras el recorrido peninsular, tiende a disminuir los aportes pluviométricos. Y por otra, al carácter más irregular de las precipitaciones procedentes de situaciones de levante, que inciden, sobre todo, en los sectores litorales y en las primeras estribaciones montañosas del sistema litoral y Pirineos más orientales. Por el contrario, en las comarcas del interior las precipitaciones tienden a regularizarse, sobre todo en los sectores más montañosos, a pesar de mantenerse elevados valores de desviación tipo, por la alta pluviometría totalizada. Las precipitaciones mediterráneas alcanzan una mayor intensidad y presentan carácter más irregular, tanto en su distribución espacial como temporal.

Una forma indirecta de expresar la variabilidad interanual de las precipitaciones es el cálculo del período óptimo de años a considerar, es decir, el tamaño de la muestra, que a un nivel de confianza determinado, 90 % por ejemplo, admitiendo un error o desvío $e = \pm 0.1 \bar{X}$, viene dado por la fórmula:

$$n = \frac{Z^2 \sigma_x^2}{e^2}$$

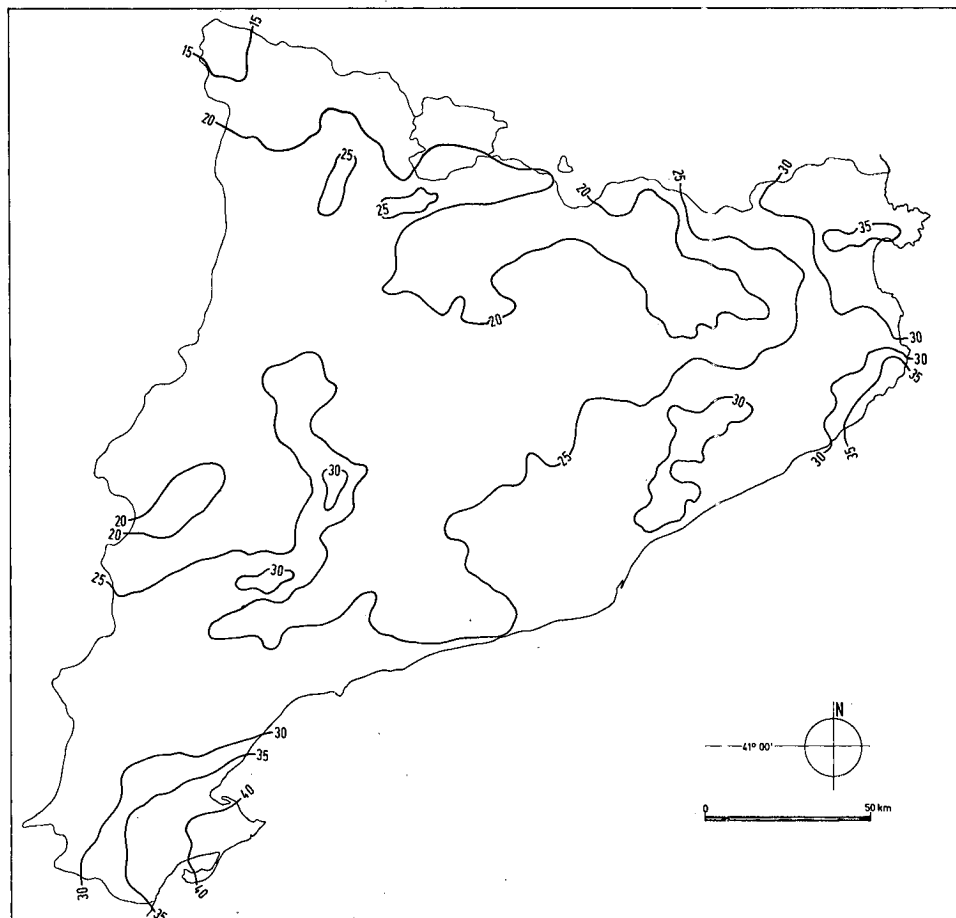


Figura 4. Coeficiente de variación de las precipitaciones anuales en porcentajes.

siendo \bar{X} la media aritmética de precipitación anual, σ_x^2 la variancia de la distribución y la variable tipificada de ley normal para una probabilidad del 95 %.

El número óptimo de años es directamente proporcional a la variancia e inversamente proporcional al cuadrado del desvío o error admitido. Se observa, en general, la necesidad de un mayor período (es decir, presenta una mayor variabilidad pluviométrica interanual) en la costa que en el interior, así como la clara reducción que se produce en la montaña, hecho que difiere radicalmente de los períodos óptimos indicados en las publicaciones técnicas de O. M. M. (Jansá, 1969), circunstancia ya señalada por Clavero (1977) para la región valenciana, según las cuales se establecen períodos óptimos superiores en las montañas que en la costa y el llano. Es evidente el papel que desempeña la presencia del Mediterráneo como factor de variabilidad pluviométrica; así se obtienen períodos óptimos de 63 años en Figueres, 45 en Tortosa, 30 en Girona e Igualada, 44 en Gualba de Dalt, mientras tan sólo de 17 en Cabdella, Les Escaldes (Andorra) o Puigreig, 15 en Tremp, 13 en Lleida, 12 en La Molina y tan sólo 10 en Viella, ya en la vertiente atlántica.

La elevada variabilidad interanual de las precipitaciones, al disminuir la representatividad de la media aritmética, obliga a considerar otros parámetros de mayor utilidad para la correcta evaluación de la población. La investigación climatológica con finalidad aplicada a la correcta ordenación del territorio, en las diversas vertientes de la utilidad de los recursos hídricos, ha de proporcionar una información precisa que contemple tanto los volúmenes pluviométricos de años excepcionalmente secos, como aquellos caracterizados por una elevada precipitación. La fiabilidad de los valores medios estará en relación inversa con la variabilidad. Cuando ésta es elevada, como ocurre en nuestros climas subtropicales, es necesario recurrir al cálculo de los cuantiles, parámetros probabilísticos obtenidos directamente de las frecuencias empíricas observadas o bien a partir de una determinada distribución teórica o ley de probabilidad.

La pluviometría de un lugar se define mediante estimación a partir de una muestra de tamaño lo mayor posible, pues, evidentemente, la población es desconocida. Generalmente la muestra se reduce al período de 30 años recomendado por la O. M. M., o a lo sumo se amplía para aproximarse a 40 ó 50; pocas series superan los 100 años de observación y con frecuencia presentan anomalías por cambio de emplazamiento, defectos de observación de diversa índole, etc. Con estas muestras, relativamente pequeñas para la elevada variabilidad que presentan, es aconsejable la búsqueda de una curva teórica que ajuste la distribución empírica para, a partir de ella, una vez comprobada la similitud o equivalencia entre las dos curvas, calcular los cuantiles deseados o los períodos de retorno de los volúmenes de precipitación o intervalos de ellas establecidos por determinados umbrales, de interés para las múltiples aplicaciones derivadas del fenómeno que analizamos.

El análisis de las frecuencias de precipitaciones anuales conduce a la hipótesis de normalidad de la distribución, es decir, las distintas precipitaciones se suelen presentar alrededor del valor medio, de forma bastante simétrica y con un grado de apuntamiento similar al que caracteriza a la ley normal. Los histogramas correspondientes tanto a observatorios con muestras grandes (121 años de Barcelona), como a otros con períodos más cortos (30 años en Cabo Begur), tanto en áreas de elevada pluviometría (Freder superior, Cabdella, Viella), como en los sectores semiáridos (Lleida, Mollerusa) muestran esta distribución (fig. 2). La comprobación de la hipótesis de normalidad se realiza aplicando el test de Kolmogorov, que compara la máxima diferencia observada entre las frecuencias empíricas y las probabilidades teóricas de la ley, con el criterio de Lilliefors, para un riesgo $\alpha = 5\%$ que equivale a $0.886/\sqrt{N}$; siendo N el número de totales pluviométricos anuales analizados o tamaño de la muestra.

Las diferencias registradas no son significativas, es decir, el ajuste es satisfactorio. Ahora bien, con frecuencia las diferencias se aproximan a los umbrales citados, es decir, el ajuste no es perfecto y la distribución empírica tiende, a veces, a ser ligeramente asimétrica con sesgo positivo, consecuencia de la naturaleza del fenómeno que analizamos: la curva de frecuencias tiene teóricamente cerrado el extremo inferior por su origen natural (no puede llover menos de cero), mientras está ampliamente abierto por el extremo superior (se puede producir cualquier precipitación). A pesar de que a nivel de período anual es inverosímil la existencia de un año totalmente sin precipitaciones, el resultado de períodos mensuales o estacionales con agudizada penuria pluviométrica se traduce en totales anuales más numerosos por debajo de la media, mientras que las precipitaciones superiores se caracterizan por valores más distanciados de ella.

Otra característica de las curvas de frecuencia de las precipitaciones anuales es

que en algunas ocasiones la distribución tiene un aspecto bimodal, como si existiera una mezcla de poblaciones. Es evidente que si el máximo secundario está alejado del principal y adquiere importancia hace difícil el ajuste, e incluso podría llegar a invalidarlo, aumentando la variabilidad y reduciendo la significación de la media, la cual tendería a situarse entre las dos modas.

Pero, en resumen, ni la asimetría positiva ni la aparición de un máximo secundario hacen registrar discrepancias significativas entre las frecuencias relativas y las probabilidades teóricas, por lo que se puede efectuar el cálculo de los parámetros probabilísticos a partir de la ley normal.

2. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN SEGÚN LOS QUINTILES

Los cuantiles que dividen una muestra o una población estadísticas en cinco partes de modo que sus valores sean mayores o iguales que el 20, el 40, el 60 y el 80 por ciento de los efectivos muestrales o poblacionales reciben el nombre de quintiles, respectivamente, el primer quintil, el segundo, el tercero y el cuarto. Existen, pues, cuatro quintiles, abreviadamente, 1Q, 2Q, 3Q y 4Q, cumpliendo $1Q < 2Q < 3Q < 4Q$, excepto en el caso extremo de una muestra con todos sus elementos iguales, en cuyo caso los quintiles serían también iguales a aquéllos. En el análisis de las precipitaciones anuales y mensuales, además de los quintiles, suele calcularse los cuartiles (primero, 1C, segundo o mediana, Med, y tercero, 3C), los deciles extremos (primero, 1D, y noveno, 9D) y, a veces, los centiles quinto (5Z) y nonagésimo quinto (95Z). De manera que han de cumplirse las desigualdades siguientes, salvo en el caso extremo mencionado:

$$5Z < 1D < 1Q < 1C < 2Q < \text{Med} < 3Q < 3C < 4Q < 9D < 95Z$$

En el análisis de los totales anuales, los quintiles son los cuantiles más utilizados, pues su cálculo nos provee unos umbrales que permiten establecer la conocida clasificación, recomendada incluso por la O. M. M. (Grisollet y cols., 1962), de los años en cinco categorías, años muy secos, secos, normales, lluviosos y muy lluviosos, de la siguiente manera:

- año muy seco: $P < 1Q$
- año seco: $1Q \leq P < 2Q$
- año normal: $2Q \leq P < 3Q$
- año lluvioso: $3Q \leq P < 4Q$
- año muy lluvioso: $P \geq 4Q$

siendo P la precipitación del año en consideración. Esta clasificación es, obviamente, relativa a cada observatorio y presenta el mismo, o parecido, porcentaje de años en cada una de las categorías, es decir, un 20 por ciento serán años muy secos, otro 20 por ciento, secos, etc., aproximadamente.

Los mapas presentados en las figuras 5, 6, 7 y 8 muestran las isoyetas correspondientes al primero, segundo, tercero y cuarto quintiles, es decir, dan la distribución espacial en el territorio catalán de los valores anuales de precipitación que son iguales o superados en el 80, 60, 40 y 20 por ciento de los años, respectivamente. O, a la inversa, los valores que no son alcanzados en un 20, 40, 60 y 80 por ciento de los totales pluviométricos anuales. De acuerdo con la clasificación arriba indicada, puede hallarse, pues, para cada lugar los umbrales que permiten calificar a un año de muy seco, seco, etc. en ese mismo punto.

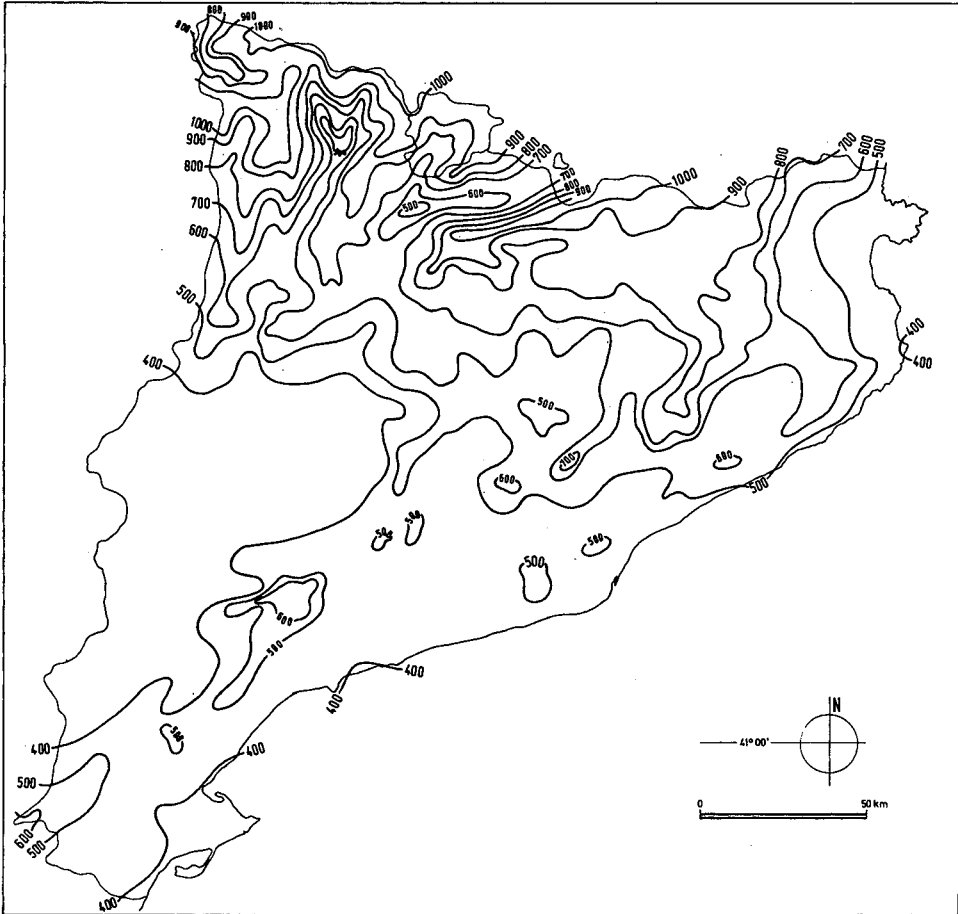


Figura 5. Isoyetas anuales del primer quintil, en milímetros.

Antes de abordar el análisis espacial de los valores de cada mapa, puede señalarse algunos rasgos o consecuencias, técnicas en algún caso, que surgen de la comparación de los cuatro mapas. En primer lugar, debe indicarse que la diversidad pluviométrica catalana es tan acusada —en cuanto a las cantidades anuales— que, dado que la clasificación mencionada es relativa a cada lugar, existen sectores más o menos extensos en los que la cantidad anual a igualar o superar para que un año sea calificado de muy lluvioso (4Q) es inferior a la que en otros sectores separa los años muy secos de los secos (1Q). Así, en los puntos del tercio norte de Cataluña, a excepción de su sector litoral y algún valle pirenaico, un año muy seco puede registrar más cantidad de precipitación que en los de las comarcas leridanas de la Depresión Central un año muy lluvioso. El caso es que este contraste se produce en determinados años y lugares, dadas las diferencias entre las correspondientes cantidades anuales de los sectores y la relativamente elevada variabilidad de la precipitación en toda la región.

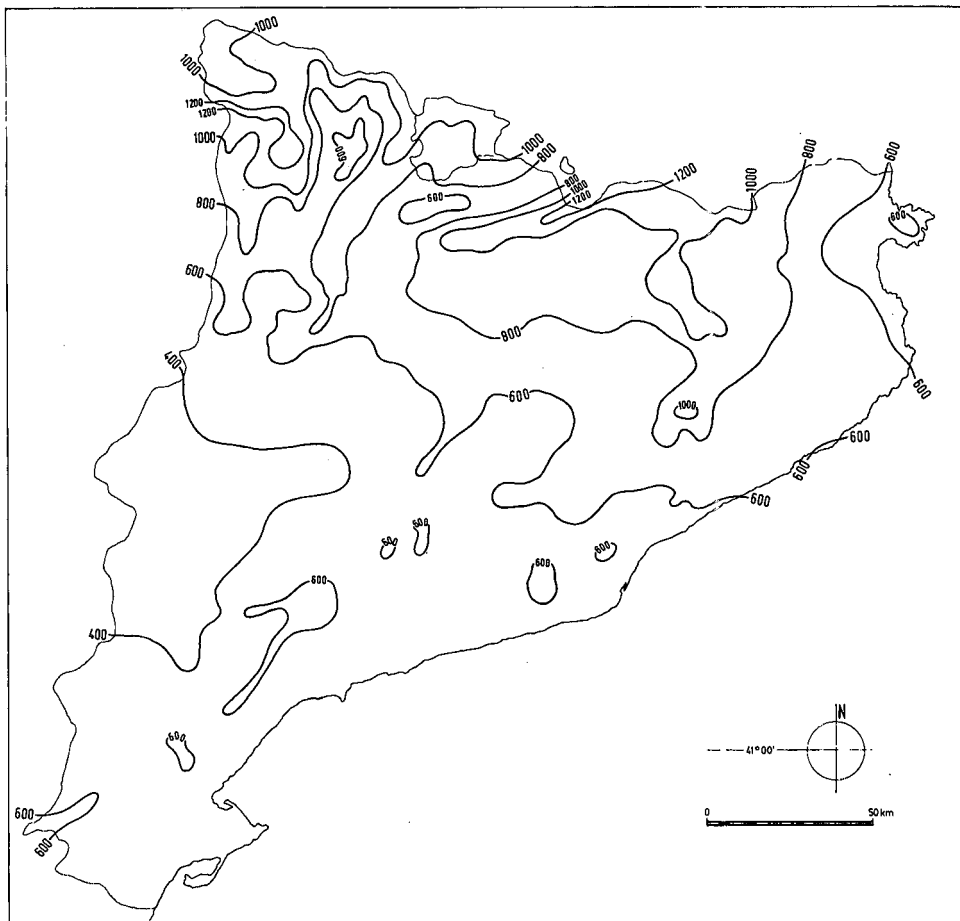


Figura 6. Isoyetas anuales del segundo quintil, en milímetros.

Una segunda consideración es que los mapas de los cuatro quintiles presentan una distribución de gradientes bastante similar, regularización debida en buena parte a la estimación de los parámetros a partir de los ajustes por medio de la distribución normal. Al mismo tiempo, los mapas del segundo y tercer quintiles se asemejan, naturalmente, tanto en forma como en valores, al de la media anteriormente mencionado, por lo que a ellos se dedicará sólo un comentario conjunto, además de haber sido dibujados con una mayor equidistancia de las isoyetas.

Por último, hay que notar que el mapa correspondiente al cuarto quintil presenta valores más contrastados que el del primero. En el primer caso, desde poco más de 1.500 mm hasta menos de 500 mm; entre los observatorios disponibles, y en el del primer quintil, sólo desde algo más de 1.000 mm hasta valores escasamente superiores a 300 mm. Este hecho revela la conocida existencia de asimetría positiva en las distribuciones muestrales de los totales anuales, dentro de su buen ajuste a la ley normal, como se ha evidenciado en el apartado 1.

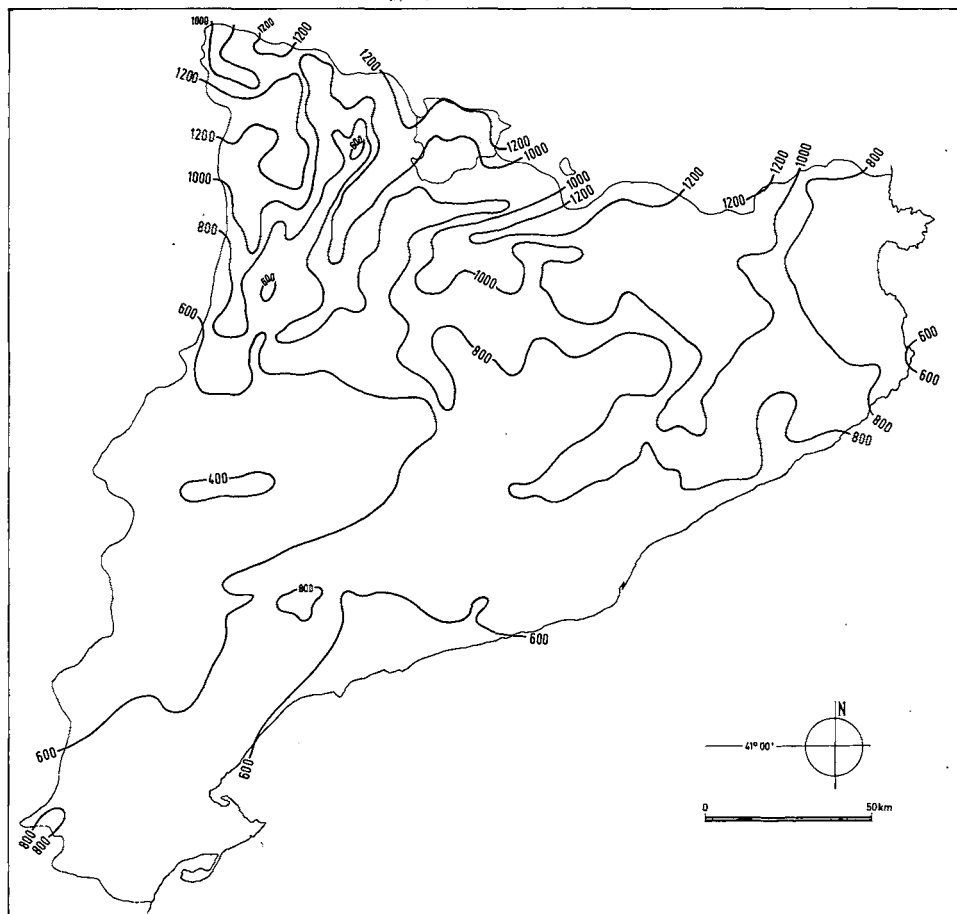


Figura 7. Isoyetas anuales del tercer quintil, en milímetros.

El mapa correspondiente al primer quintil (fig. 5) muestra valores inferiores a 400 mm, lo que indica que en un 20 por ciento de los años no se alcanza este total pluviométrico, en el sector leridano meridional, por debajo de los 500 m de altitud, prolongándose al sector tarraconense más occidental limítrofe, que corresponde, aproximadamente, a las comarcas del Segrià, Urgell, Terra Alta y parte de las de la Segarra y Ribera d'Ebre. Aparte de esta área, bastante extensa, quedan también por debajo de los 400 mm el litoral meridional desde l'Ametlla de Mar hasta el límite con la provincia de Castellón, incluyendo el delta del Ebro, y algún otro enclave costero, como los de cabo Begur y la ciudad de Tarragona.

Por el contrario, la isoyeta de 800 mm del primer quintil, que delimita bastante bien los sectores catalanes sin problemas de aridez, engloba la cordillera pirenaica —Pirineo Axil y Sierras Interiores— desde los relieves próximos a Maçanet de Cabrenys hasta su extremo occidental catalán, con una prolongación hacia el sur siguiendo las estribaciones de la Cordillera Transversal y alcanzando las cimas más

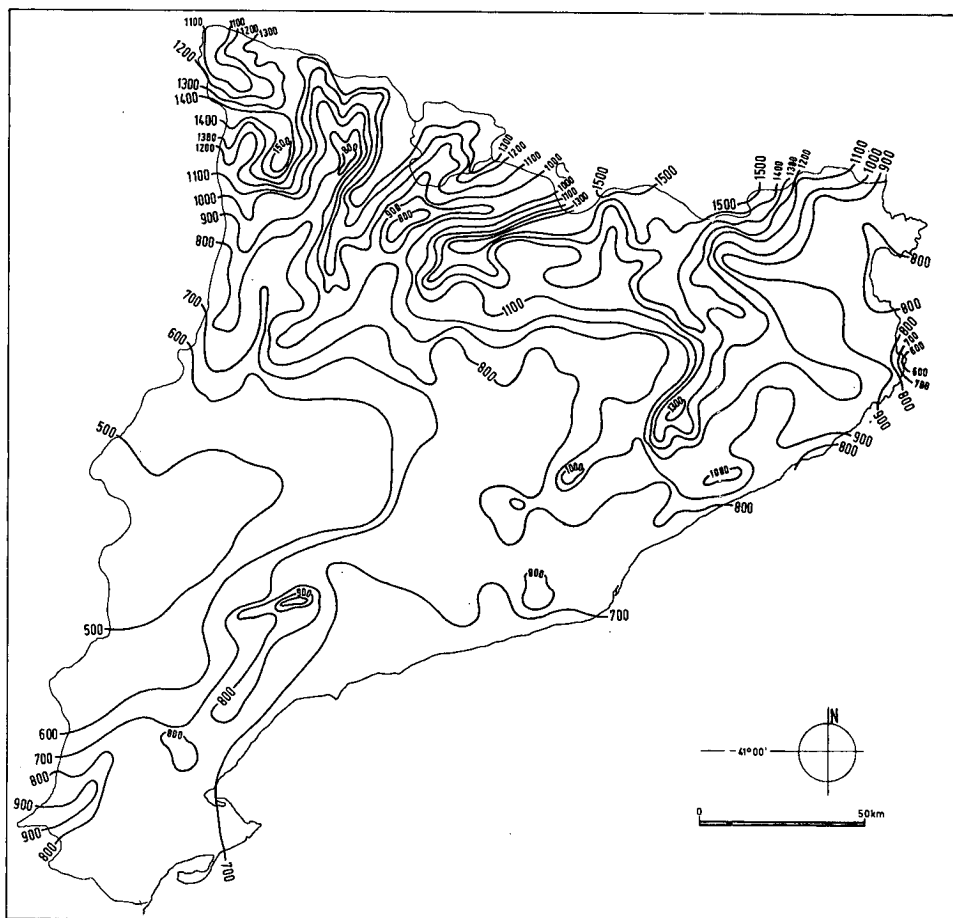


Figura 8. Isoyetas anuales del cuarto quintil, en milímetros.

destacadas del Montseny. Tanto la Cerdanya, que hace perder continuidad a la anterior área, como los valles de los ríos Noguera Pallaresa y Noguera de Cardós, y algún otro valle pirenaico, quedan excluidos de ella.

El resto del territorio queda comprendido entre 400 y 800 mm, con núcleos de valores superiores a los 500 y 600 mm en las cordilleras litoral y prelitoral, y una franja relativamente húmeda, de más de 600 mm, adosada a los sectores que enmarca la isoyeta de 800 mm.

Los mapas del segundo y tercer quintiles (figs. 6 y 7), bastante similares, son, como se ha indicado antes, buen reflejo del mapa de valores medios anuales. En ellos sólo se han dibujado las isoyetas múltiplos de 200 mm. A grandes rasgos, sobresale la conocida disposición de los sectores lluviosos siguiendo los grandes macizos del Pirineo Axil y de las sierras interiores pirenaicas, destacando los núcleos de la divisoria de aguas entre los ríos Garona y Noguera Ribagorçana, Noguera de Tor y Flamicell y, por otra parte, los relieves montañosos próximos a La Molina, siendo

los observatorios de Cabdella y Estany Gento, en el primer núcleo, y La Molina, en el segundo, los que dan los valores de precipitación máximos, superándose los 1.200 mm, para el segundo quintil, y los 1.300 mm, para el tercer quintil. El área lluviosa queda rota por la depresión tectónica de la Cerdanya y fuertemente invaginada por algunos valles, como los de los ríos Noguera Pallaresa y Noguera de Cardós. Al mismo tiempo, esta área lluviosa se extiende hacia el sur, siguiendo la cordillera transversal catalana, y englobando el Montseny. Los macizos más destacados de la cordillera Prelitoral catalana y, en el mapa del segundo quintil, con la equidistancia tomada, alguno de la cordillera Litoral quedan con valores superiores a los del resto. Las comarcas meridionales de Lleida y las tarraconenses del Ebro, en su límite con Aragón, constituyen el área menos favorecida por los totales anuales de precipitación, llegándose en algún punto de ellas a no superarse los 400 mm en un 60 por ciento de los años.

El mapa correspondiente al cuarto quintil (fig. 8) presenta isoyetas con la misma disposición general que la señalada con referencia a los otros quintiles. En cuanto a los valores alcanzados, es de destacar que en algunos lugares del Pirineo aparece la isoyeta de 1.500 mm, es decir, allí uno de cada cinco años supera esa cantidad, llamando la atención, con los datos disponibles, un núcleo sobre los relieves pirenaicos que respaldan el sector de Maçanet de Cabrenys. Hay que señalar que, al igual que también ocurre en los mapas del primer y tercer quintiles, una poco acusada prolongación del sector lluvioso pirenaico es perceptible, con disposición aproximada NW-SE, apuntando desde el alto Ter hacia las Gavarres y la Costa Brava en el sector de Sant Feliu de Guíxols. De manera que, en el mapa del cuarto quintil, se aprecia un notable gradiente entre este punto y el cabo Begur, a pocos kilómetros hacia el norte, que debe, en parte, su relativamente escasa precipitación a su enclave en un saliente costero. El área con valores mínimos, donde cuatro de cada cinco años no alcanzan los 500 mm, se localiza en la cuenca baja de río Segre al sur de Balaguer. Nótese, por último, que la orografía individualiza, como en los mapas anteriores, núcleos relativamente lluviosos o secos, correspondientes a macizos montañosos y a sectores deprimidos o resguardados, respectivamente, dentro de áreas con pluviometría uniforme.

3. DISTRIBUCIÓN DE LAS PRECIPITACIONES ESPERADAS PARA PERÍODOS DE RETORNO DE 10 Y 20 AÑOS

Una vez puesta de manifiesto la diversidad pluviométrica catalana y los contrastes entre las precipitaciones registradas en los diferentes sectores del principado, tanto los años considerados, en comparación con los valores obtenidos para los cuatro quintiles, como relativamente muy secos, secos, «normales», lluviosos y muy lluviosos, resulta evidente el interés de formular una mayor aproximación en el análisis de los totales pluviométricos anuales de carácter excepcional, ya sea por su indigencia, ya por su abundancia relativas. No obstante el tamaño de las series climáticas utilizadas, procedentes en general de las observaciones registradas diariamente durante más de 30, e incluso 40, años, se ha optado por circunscribir el análisis de las precipitaciones extremas al cálculo y examen de los deciles primero y noveno y de los centiles quinto y nonagésimo quinto, en consecuencia de cantidades a las que corresponden períodos de retorno de diez y de veinte años, susceptibles por tanto de ser sometidas a un contraste sumamente estricto y completamente fiable con los datos estudiados.

Los deciles y centiles aludidos ofrecen una imagen aproximada de la distribución de las precipitaciones anuales sobre Cataluña los años de mayor sequía y pluviosidad, cuyos rasgos más notables serán sucesivamente destacados.

Distribución de las precipitaciones no sobrepasadas los años más secos

Los valores del primer decil y del quinto centil representan los totales pluviométricos alcanzados a lo sumo por el diez y el cinco por ciento respectivamente de los años más secos. Su recurrencia correspondiente no comporta secuencias de precipitaciones de la cuantía sugerida por los mismos constitutivas de ciclos que deban repetirse cada diez o veinte años. El acacimiento de tales cantidades es contingente y, por consiguiente, únicamente cabe esperar se registren en la proporción indicada. Las isoyetas trazadas a partir de las cantidades calculadas para ambos cuantiles sobre distintos puntos del Principado (figs. 9 y 10) destacan la predominante importancia

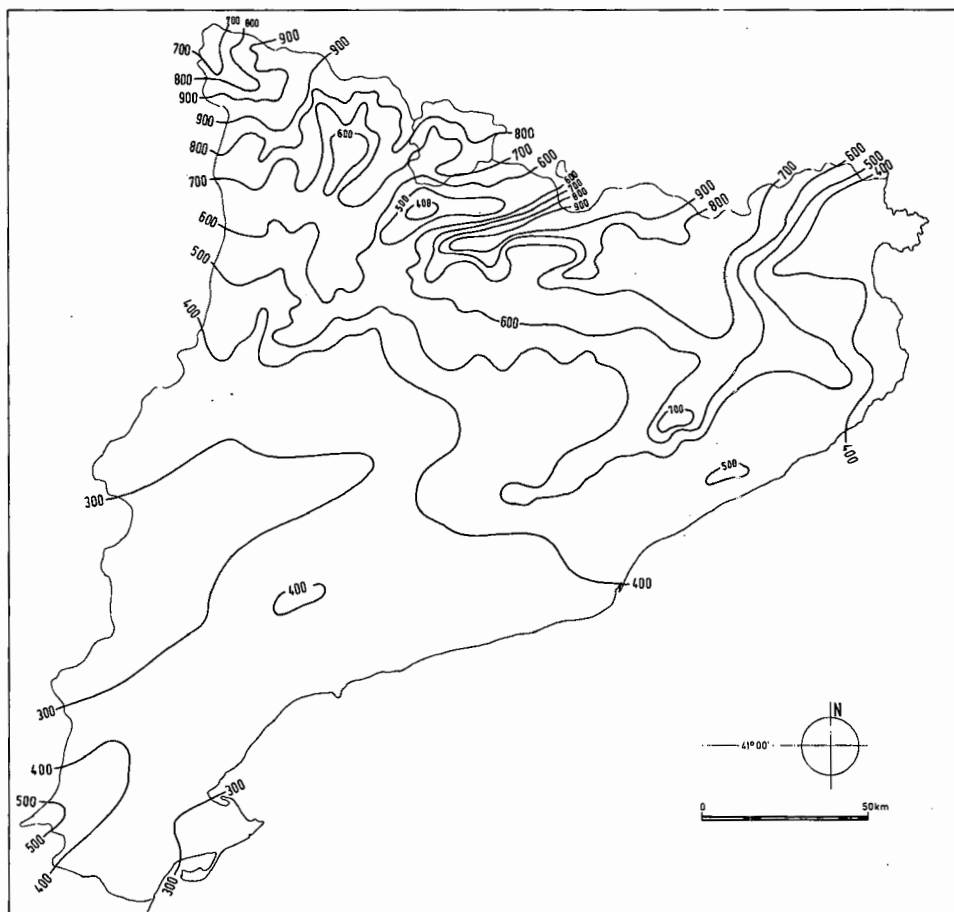


Figura 9. Isoyetas anuales del primer decil, en milímetros.

del factor altitud en la distribución de las precipitaciones los años de pluviometría más escasa y, en mucho menor grado, la distancia al mar Mediterráneo. La variación más ostensible en el espacio se observa aproximadamente en sentido meridiano. Los totales pluviométricos anuales aumentan con las curvas de nivel entre el Pla de Lleida, al oeste de la depresión central catalana, en su límite administrativo con Aragón, y el Pirineo Axil. A la diferencia latitudinal de aproximadamente tan sólo un grado entre ambos sectores corresponde a lo sumo un papel coadyuvante en la existencia de este incremento. Un aumento semejante, pero limitado a un área más reducida se aprecia entre el litoral de la Plana de l'Empordà, por un lado, y la cordillera transversal y Pirineos orientales, por otro. Las mismas isoyetas muestran también la presencia de un aumento, mucho más moderado, de las precipitaciones con la altitud en el sudoeste de Cataluña, sobre Els Ports de Beseit, y en el resto de las cordilleras Costeras catalanas, especialmente en el tercio nordeste de la prelitoral y en el Montnegre, tanto a partir de la Depresión Central como desde la costa mediterránea.

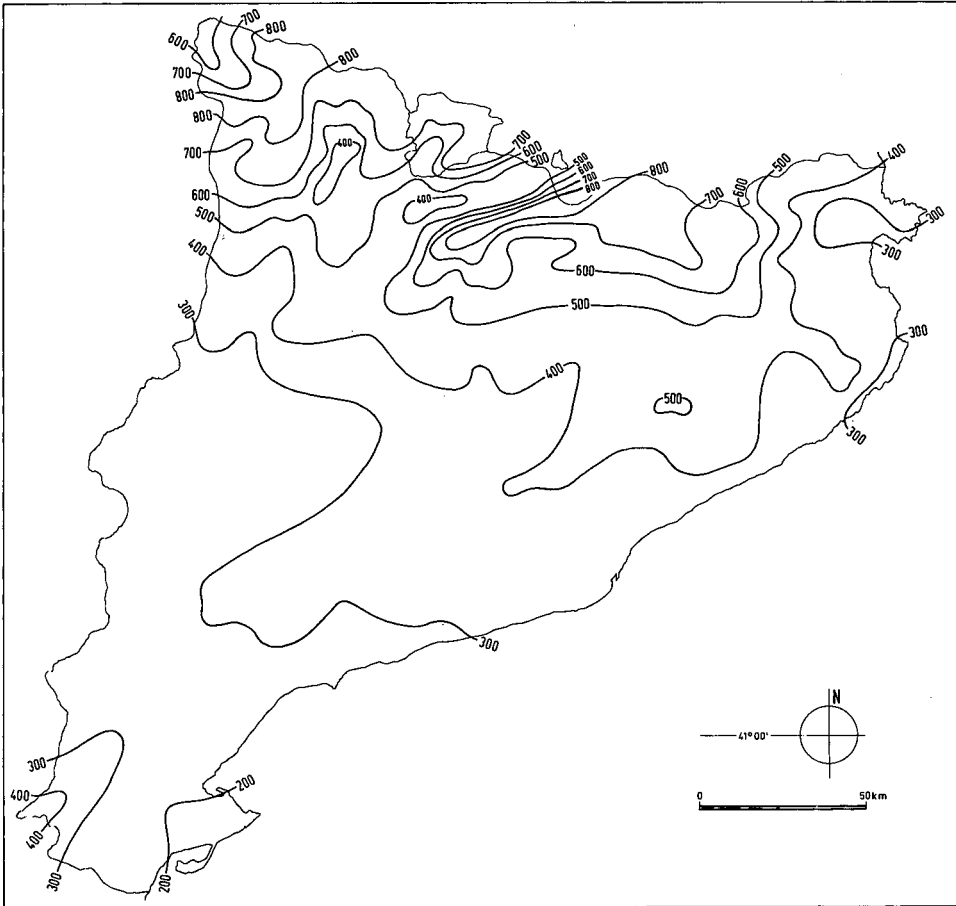


Figura 10. Isoyetas anuales del quinto centil, en milímetros.

Sólo al Pla de Lleida y la Plana d'Urgell, sobre sectores de altitud no superior a 400 m, y al delta del Ebro corresponden precipitaciones anuales inferiores a 300 mm el diez por ciento de los años más secos. Las cantidades calculadas para estos mismos años aumentan en la Depresión Central en dirección nordeste, sobre altitudes de 400 a 600 m aproximadamente, hasta cifrarse en 400 e incluso 500 mm anuales; hacia el sur, por donde llegan a alcanzar valores semejantes en Els Ports de Be-seit, y, obviamente, en sentido opuesto, es decir hacia los Pirineos, de forma que recaban los 400 mm en la fachada meridional de sus sierras exteriores y valores progresivamente crecientes hasta culminar en la sierra del Cadí y en las de Besiberri y Montardo, estas últimas en el Pirineo Axil, donde es probable que aun el más seco de diez años seguidos o tomados al azar pueda totalizar unas precipitaciones comprendidas entre 900 y 1.000 milímetros. La disposición de las isoyetas pone de manifiesto la cuantía sensiblemente inferior del incremento sobre los valles de los ríos Noguera Pallaresa y Segre y la existencia incluso de sendos mínimos relativos no lejos de sus cabeceras. El dispuesto sobre el primero está delimitado únicamente por una isoyeta de 600 mm, en tanto que el correspondiente al segundo aparece definido por una isoyeta de 500 mm que, a su vez, engloba un pequeño núcleo enmarcado por otra de 400 mm.

A lo largo del litoral mediterráneo, los totales pluviométricos para períodos de retorno de diez años son en general mucho más moderados que en el interior de Cataluña. De ahí que no haya sido preciso para su representación más que el concurso de las isoyetas de 300 y 400 mm, la primera trazada únicamente sobre el delta del Ebro para significar el menor de los núcleos de inferior precipitación anteriormente aludidos. Desde el golfo de Sant Jordi, al norte del propio delta, los valores estimados aumentan hasta la desembocadura del Llobregat, cuyo curso más bajo coincide justamente con la isoyeta de 400 mm. A partir del delta de este último río, en dirección nordeste, el incremento, aunque moderado, prosigue, pero, antes de alcanzar los 500 mm, inicia un descenso y, casi en el extremo SE de la Costa Brava, aparece una isoyeta de 400 mm que, en dirección aproximadamente septentrional, sigue una trayectoria similar a la del litoral mediterráneo, salvo en la mitad norte de la Plana de l'Empordà, sobre las cuencas de los ríos Fluvià y la Muga, donde describe un apreciable entrante que se extiende hasta el estrechamiento de los valles de ambos ríos con el adentramiento de los mismos en su curso alto. Esta misma isoyeta termina por aproximarse nuevamente a la costa y cortar el litoral al este de la sierra de l'Albera, junto a la frontera con Francia. Al oeste de la Plana de l'Empordà, sobre la cordillera transversal y los Pirineos, las isoyetas de superior cuantía aparecen muy próximas entre sí, hasta culminar en la de 900 mm que encierra el macizo del Puigmal y buena parte de la sierra del Cadí, incluidos los sectores de mayor altitud.

Las cantidades obtenidas para el quinto centil, a las que corresponden recurrencias de dos decenios, son en general entre 50 y 100 mm inferiores a las halladas para períodos de retorno de diez años, por cuyo motivo los mapas trazados a partir de ambas series de valores deben necesariamente ser similares. En efecto, los rasgos más destacados de la distribución de los totales anuales que es probable no sobrepase el más seco de veinte años tomados al azar (fig. 10) son semejantes a los señalados respecto a la distribución sobre Cataluña de las cantidades calculadas para una recurrencia de 10 años. El incremento de las respectivas isoyetas con la altitud es especialmente acusada entre el fondo de la depresión central catalana y las más altas sierras pirenaicas, y entre el litoral nordeste y el macizo del Puigmal, en tanto que resulta mucho más moderado el existente entre la depresión central y las cordilleras costeras catalanas, y entre el litoral y este sistema orográfico.

Los totales anuales calculados para períodos de recurrencia de 20 años se sitúan entre 200 y 300 mm sobre una extensa área que comprende la mitad occidental de la depresión Central catalana, el tercio sudoeste del litoral mediterráneo y las tierras próximas al curso del Ebro que unen ambos sectores con la salvedad del delta de este río, para el que han sido estimados valores próximos a 200 mm, pero ligeramente inferiores. Los totales obtenidos para la franja costera comprendida entre el SW de la cordillera litoral y el E de la l'Albera son de cuantía próxima a 300 mm, único valor asignado a las isoyetas utilizadas para su representación. Se trata de cantidades generalmente superiores pero que incluyen, sin embargo, dos pequeños núcleos de cuantía inferior, uno al norte del golfo de Roses y otro en el litoral próximo al macizo de Begur y Les Gavarres. A partir de la depresión Central y de la franja costera, las isoyetas correspondientes a valores de cuantía creciente se encaraman sobre las áreas próximas de orografía más o menos pronunciada hasta delimitar totales anuales superiores a 800 mm en la sierra del Cadí y Pirineo Axil. El incremento es sensiblemente inferior en los valles de los principales ríos y, como puede apreciarse en los mapas trazados a partir de las cantidades halladas para períodos de retorno más cortos, no lejos de las cabeceras de los ríos Noguera Pallaresa y Segre, existen sendos mínimos relativos, delimitados cada uno de ellos por una isoyeta de 400 mm. Sobre las cordilleras costeras, el aumento, muy suave, culmina con una isoyeta de 400 mm sobre Els Ports de Beseit y otra de 500 mm sobre el Montseny. Sin embargo, a la mayor parte de estas cordilleras corresponden totales anuales no sobrepasados en períodos de retorno de veinte años similares a los de la franja litoral y margen próximo de la depresión Central.

Distribución de los totales pluviométricos alcanzados o rebasados los años más lluviosos

El noveno decil y el nonagésimo quinto centil denotan las precipitaciones al menos alcanzadas el diez y el cinco por ciento respectivamente de los años de mayor pluviometría. Las isoyetas trazadas a partir de estas cantidades (figs. 11 y 12) y las previamente elaboradas para los años más secos mantienen una disposición semejante que se concreta primordialmente en el incremento de sus correspondientes valores con la altitud. Su analogía no descarta la existencia de determinadas discrepancias relativas, debido a que las cantidades calculadas para los años más secos y más lluviosos no son idénticas ni estrictamente proporcionales en los distintos puntos del Principado, incluso en algunos de aquellos cuyos totales anuales resultan manifiestamente coincidentes, ya sea los años de más abundancia, ya los de más escasa pluviometría.

El mapa representativo de las precipitaciones anuales probablemente alcanzadas o sobrepasadas por el más lluvioso de diez años tomados al azar (fig. 11) pone de manifiesto que las de menor cuantía corresponden exclusivamente a la parte occidental de la depresión Central catalana, mientras que en los mapas trazados a partir de los valores calculados para los años más secos, este sector, como anteriormente se ha señalado, comparte con el delta del Ebro las isoyetas de inferior magnitud o es justamente en la desembocadura de este río donde se localizan los totales menos cuantiosos del Principado. Las cantidades que, de acuerdo con los cálculos realizados, deben ser alcanzadas o rebasadas en cada observatorio al oeste de la propia depresión Central por el mayor de diez totales pluviométricos se cifran en torno a los 500 mm, valor asignado a una isoyeta que escasamente engloba el Pla de Lleida. Desde este sector, se aprecia un neto incremento de los totales estimados de acuerdo con el mis-

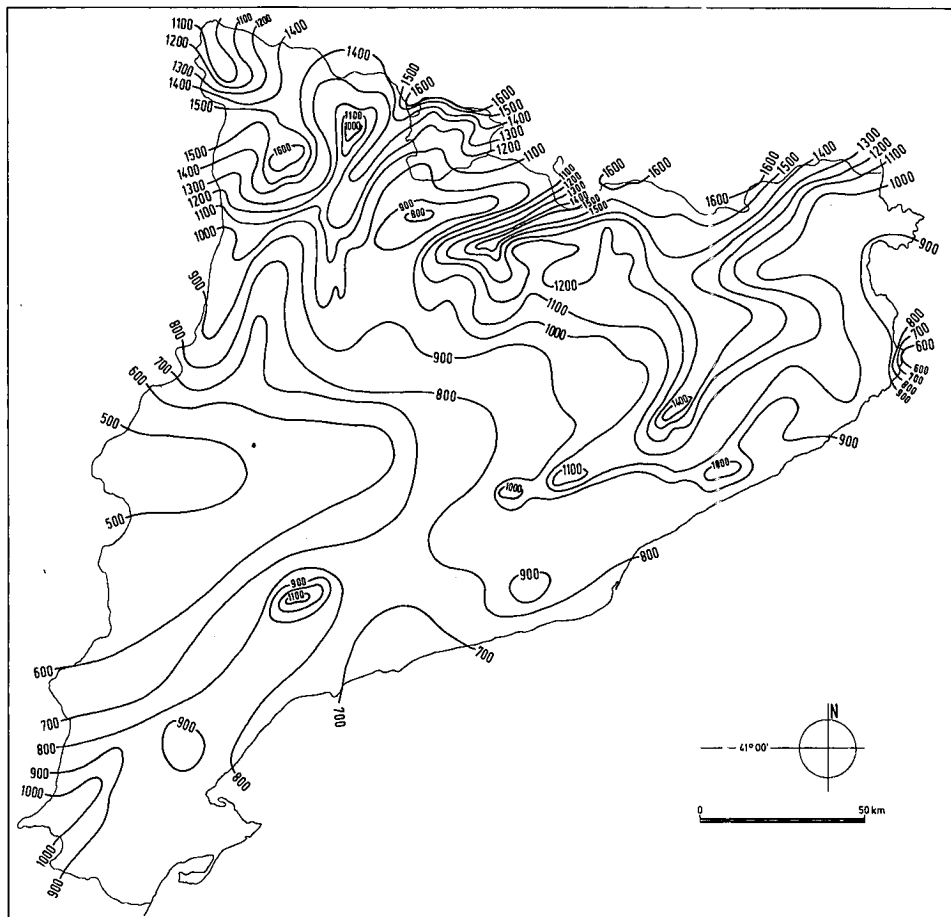


Figura 11. Isoyetas anuales del noveno decil, en milímetros.

mo criterio hacia los márgenes de la depresión, especialmente en sentido nordeste, de manera que alcanzan los 1.000 mm en la Plana de Vic. Los incrementos más acusados, evidentemente, atañen a los Pirineos. De los 700 mm calculados para el borde meridional de sus sierras exteriores, se pasa a los 1.500 de la sierra del Cadí y puntos más elevados del Pirineo Axil, donde los totales calculados rebasan los 1.600 mm. Próximos a estos puntos de máxima precipitación, sobre los valles altos de los ríos Noguera Pallaresa y Segre, existen mínimos secundarios semejantes a los señalados para los años más secos. El situado sobre el primero de ambos ríos está enmarcado por una isoyeta de 1.110 mm que encierra otra de 1.000 mm, mientras que el emplazado sobre el Segre aparece delimitado por una de 900 mm e incluye un pequeño núcleo demarcado por una de 800. Sobre el único territorio perteneciente a la vertiente septentrional de los Pirineos, la Vall d'Aràn, las isoyetas descienden rápidamente de 1.400 a 1.100 mm desde los puntos próximos a la divisoria de aguas al fondo del valle.

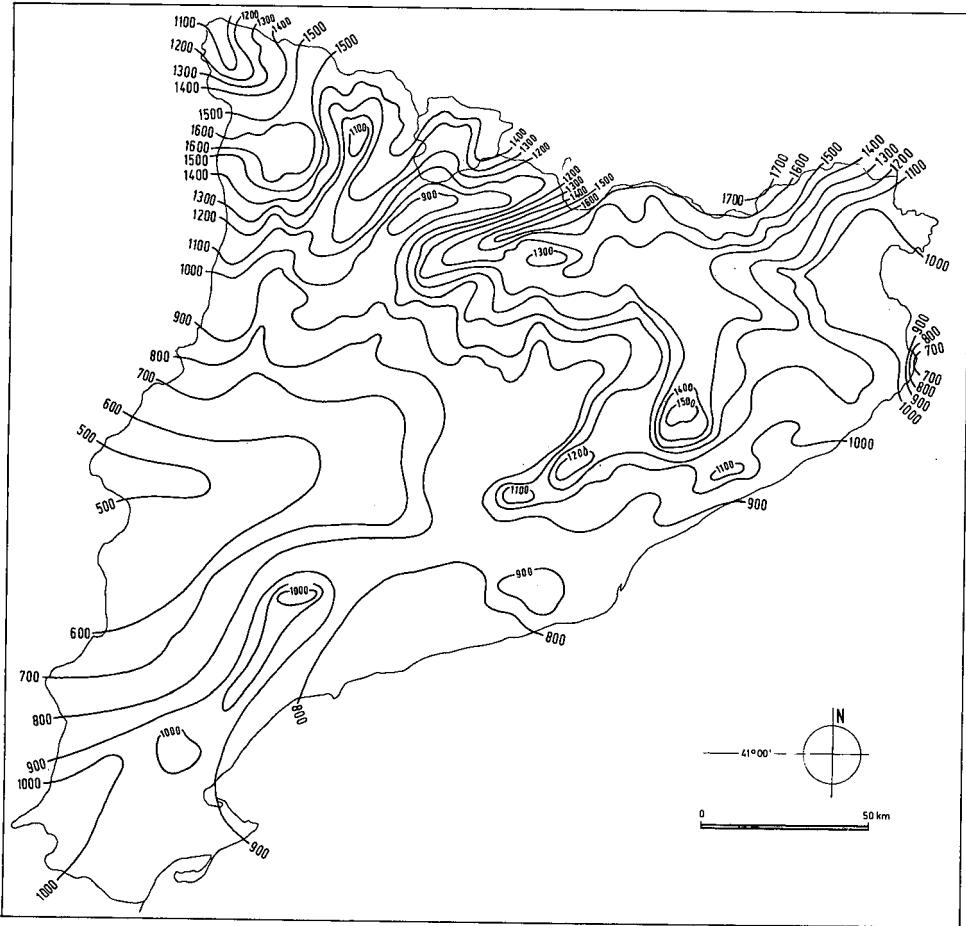


Figura 12. Isoyetas anuales del nonagésimo centil, en milímetros.

El mismo mapa muestra un incremento, en general discreto, entre la depresión Central y las cordilleras costeras, que culmina en los conjuntos de mayor altitud de la alineación prelitoral con las isoyetas de 1.000 ó 1.100 mm trazadas sobre Els Ports de Beseit, las montañas de Prades, Montserrat y Sant Llorenç del Munt, y la de 1.400 dispuesta sobre el Montseny.

A lo largo del tercio sudoeste de la franja litoral, contrariamente a lo que sucede los años más secos, los totales pluviométricos calculados para los años más lluviosos sobre períodos de retorno de diez años decrecen en dirección nordeste, de los más de 800 mm correspondientes al delta del Ebro a los poco más de 700 mm estimados para el sudoeste de la depresión prelitoral, a partir de donde las cantidades obtenidas para los observatorios próximos a la costa inician un aumento, patente en todo su tercio medio, hasta situarse sobre los 900 mm al alcanzar la parte más meridional de la costa Brava. Totales similares corresponden a la totalidad de esta costa, con la salvedad de cabo Begur, donde descienden hasta cifrarse por debajo de 600 mm y el

litoral del golfo de Roses hasta cabo de Creus. Con la proximidad de la sierra de l'Albera puede constatarse un apreciable incremento de las cantidades calculadas, las cuales llegan a sobrepasar los 1.000 mm en su extremo oriental.

El aumento más acusado entre la franja litoral y el interior tiene lugar en el nordeste de Cataluña y particularmente entre los 900 mm correspondientes a la línea costera de la Plana de l'Empordà y los 1.300, 1.400 y 1.500 mm estimados para las sierras Transversal, Cavallera y del Cadí respectivamente y los 1.500 del Puigmal. En los restantes territorios más o menos próximos al Mediterráneo, el aumento hacia el interior culmina con los 1.000 mm del Montnegre y las cantidades previamente señaladas para los conjuntos más elevados de la cordillera Prelitoral, sólo claramente superiores en el Montseny.

Los valores del nonagésimo quinto centil sobrepasan a los del noveno decil respectivamente obtenidos para cada uno de los puntos de observación estudiados en cantidades aproximadamente comprendidas entre 50 y 100 mm. De ahí que las isoyetas representativas de las precipitaciones que como mínimo cabe esperar registre el más lluvioso de cada serie de veinte años (fig. 12) deban necesariamente recordar a las anteriormente diseñadas con un criterio semejante para una recurrencia de diez años. Efectivamente puede comprobarse que, en general, cada una de las primeras sigue un trazado próximo al observado por cada una de las segundas de valor inmediato inferior. Sin embargo, el área sometida a una menor pluviometría relativa aparece delimitada en ambos supuestos por una isoyeta de 500 mm, aunque ciertamente la parte de la depresión central catalana a la que corresponden valores de este mismo o inferior orden para períodos de retorno de veinte años sea más reducida. En cambio, para idéntica recurrencia, los sectores interesados por una isoyeta de 1.600 mm representan obviamente una superficie sensiblemente más extensa de las sierras pirenaicas de mayor altitud que los afectados por las isoyetas de idéntica cuantía trazadas a partir de los valores del noveno decil. Sobre los puntos culminantes del Pirineo Axil, dos isoyetas de 1.700 mm sugieren la existencia de otros núcleos a los que corresponden cantidades superiores los años más lluviosos de cada serie de veinte.

En definitiva, con todas estas salvedades los rasgos esenciales anteriormente subrayados como característicos de las precipitaciones anuales alcanzadas o superadas como mínimo en períodos de retorno de diez años son válidos para la distribución sobre Cataluña de las cantidades de superior cuantía calculadas para una recurrencia de veinte años.

CONCLUSIONES

— Las precipitaciones presentan una gran irregularidad en su distribución temporal sobre un territorio. El mejor parámetro para la estimación de esta variabilidad es el coeficiente de variación de Pearson, según el cual Cataluña presenta unas áreas de máxima variabilidad, vinculada a la influencia mediterránea, sobre todo en los sectores próximos al delta del Ebro y en el litoral y primeras estribaciones orográficas del nordeste, con valores superiores a 30. Por el contrario, se produce una clara regularización pluviométrica en el interior y en las montañas, en que el coeficiente de Pearson puede caer por debajo de 20.

— El ajuste de las curvas de frecuencias mediante la ley normal es satisfactorio para los observatorios de todo el territorio, a pesar del sesgo ligeramente positivo de las curvas empíricas, por un lado, y a la aparición en algunos de modas secundarias, vinculadas a posibles mezclas de población.

— Clasificando los años en cuanto a su total pluviométrico en las cinco conocidas categorías, relativas para cada lugar, de años muy secos, secos, normales, lluviosos y muy lluviosos, que tienen a los cuatro quintiles por umbrales de separación entre ellas, destaca el hecho de que en sectores del tercio norte de Cataluña un año muy seco puede registrar más cantidad de precipitación que en muchos lugares de las comarcas leridanas de la depresión Central un año muy lluvioso.

— El mapa correspondiente al cuarto quintil presenta valores desde algo más de 1.500 mm hasta menos de 500 mm, entre los observatorios disponibles para el conjunto de Cataluña, y el del primer quintil, desde poco más de 1.000 mm hasta valores ligeramente superiores a 300 mm.

— En un 20 por ciento de los años no se alcanzan los 400 mm anuales en el sector leridano meridional, por debajo de los 500 m de altitud, prolongándose al sector tarraconense más occidental colindante, y en el litoral meridional desde l'Ametlla de Mar hasta el límite con la provincia de Castelló, junto con algún otro enclave costero aislado. Por el contrario, algunos lugares pirenaicos superan los 1.500 mm en uno de cada cinco años.

Los mapas elaborados a partir de los totales pluviométricos anuales calculados para los años más secos, cuya cuantía no llegan a sobrepasar los distintos observatorios estudiados en períodos de retorno de diez y veinte años respectivamente, ponen de manifiesto que el área de mínima pluviosidad relativa, extendida sobre el oeste de la depresión Central catalana y el delta del Ebro, corresponden isoyetas de valor inferior a la mitad del asignado a las trazadas sobre los puntos más altos del Pirineo Axil y sierra del Cadí, sectores que reciben las máximas precipitaciones del Principado.

Los totales anuales indicativos de una pluviometría más abundante, cifrados en cantidades que tan sólo puede esperarse sean superadas con una recurrencia de uno o dos decenios, permiten circunscribir el área de precipitaciones relativamente menos copiosas exclusivamente a la parte más occidental de la depresión Central catalana. Las isoyetas trazadas a partir de los mismos para este sector son aproximadamente equivalentes a un tercio del valor correspondiente a las que delimitan los puntos de máxima pluviosidad sobre las sierras y macizos pirenaicos de mayor altitud.

Referencias bibliográficas

- Atlas Climàtic de Catalunya* (en prensa), I. C. C., Barcelona.
Atlas Universal Català (1983), Enciclopèdia Catalana, Barcelona.
 CLAVERO, P. (1977): *Los climas de la región valenciana*, Tesis doctoral inédita, Departamento de Geografía, Universidad de Barcelona.
 GRISOLLET, H. y cols. (1962): *Climatologie. Methodes et pratiques*, Gauthiers-Villars, París.
 JANSÁ, J. M. (1969): *Curso de Climatología*, S. M. N., Madrid.
 PETERSSEN, Ph. S. (1968): *Introducción a la Meteorología*, Espasa-Calpe, Madrid.

Résumé: Distribution probabiliste de la précipitation annuelle en Catalogne

Dans ce travail on présente la distribution probabiliste des précipitations annuelles en Catalogne. L'objectif essentiel est d'en améliorer la définition ainsi que la distribution des totaux pluviométriques annuels, en raison de la grande variabilité de cet élément dans les climats méditerranéens, ce qui réduit la représentativité de la moyenne arithmétique. Les valeurs probabilistes cartographiées correspondent aux périodes de recours de 5, 10 et 20 ans. Ces précipitations ont été calculées au plus près en tenant compte de la distribution normale.

Abstract: Probabilistic distribution of annual rainfall in Catalonia

In this study the probabilistic distribution of annual rainfalls in Catalonia is described. The basic aim is to improve the definition and distribution of the annual rainfall totals, since the marked fluctuation of this parameter in Mediterranean climates reduces the representivity of the arithmetic mean. The probability values mapped out are those corresponding to recurrence intervals of 5, 10 and 20 years. These rainfalls have been calculated by adjusting the figures to the normal distribution.