

GISPLU y MAXPLU: Obtención de máximas precipitaciones diarias en la España Peninsular

MANUEL MENÉNDEZ PRIETO (*); JAVIER FERRER POLO (**); LIANA ARDILES LÓPEZ (***)

RESUMEN Las aplicaciones informáticas GISPLU y MAXPLU permiten obtener fácilmente los cuantiles de lluvias máximas diarias de cualquier período de retorno en la España peninsular. Ambas son meras presentaciones de resultados —a través de un Sistema de Información Geográfica o exclusivamente por salida numérica— del estudio realizado por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX de modelización estadística de máximas lluvias diarias a escala nacional.

GISPLU AND MAXPLU: DAILY MAXIMUM RAINFALL IN THE PENINSULAR TERRITORY OF SPAIN

ABSTRACT GISPLU and MAXPLU has been developed to obtain the quantiles of daily maximum rainfall for different return periods in the peninsular territory of Spain. Both of them are only a results report —using a Geographical Information System or exclusively numerical output— of the statistical analysis of yearly series of maximum daily rainfall in Spain study performed by the Centre of Hydrographic Studies of CEDEX.

Palabras clave: Crecidas; Isomáximas; Funciones distribución.

1. INTRODUCCIÓN

La obtención, tratamiento y análisis estadístico de los datos de precipitaciones máximas diarias supone, en la mayoría de los casos, un porcentaje muy alto del trabajo a realizar en el cálculo de caudales de diseño. Además, debido a las distintas formas existentes de abordar el problema: gran variedad de metodologías de tratamiento previo de los datos pluviométricos, análisis local o regional, distintas tipologías de leyes de distribución, etc., se está produciendo una heterogeneidad en los métodos de cálculo que inevitablemente lleva una falta de conocimiento de la fiabilidad de los resultados obtenidos.

De hecho, se han utilizado diversos tipos de funciones de distribución en datos de precipitaciones máximas, pero las razones del uso de una en particular no han sido claramente establecidas dependiendo, en muchos países, de razones simplemente históricas o subjetivas (WMO, 1989).

Por ejemplo, la metodología basada en el método racional, propuesta en la actual normativa española para el diseño del drenaje superficial en carreteras, presupone conocida la precipitación asociada al período de retorno para el que se desea realizar el diseño, sin proponer cómo debe realizarse su cálculo. Esto ha llevado a que incluso dentro de un mismo tramo de carreteras se hayan utilizado distintas

metodologías de cálculo de la precipitación, según la cuenca de que se tratara.

Estas razones llevaron a la Dirección General de Carreteras a encargar al Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX la realización de la modelación estadística de las máximas lluvias diarias a escala nacional (J. Ferrer, L. Ardiles, 1994). Las aplicaciones GISPLU y MAXPLU son meros visualizadores de los resultados obtenidos en dichos trabajos. Su objetivo es eminentemente práctico: ofrecer al usuario los cuantiles de lluvia para cualquier período de retorno en puntos de la España peninsular a partir de las coordenadas geográficas o UTM del punto y el período de retorno deseado, únicos datos de entrada a ambos modelos.

Evidentemente, el usuario no percibe el trabajo previo realizado: análisis de las más de 1.500 estaciones pluviométricas con más de 30 años de datos utilizadas y que permitió su agrupación en 26 regiones cuya homogeneización fue contrastada mediante análisis estadístico de los coeficientes de variación muestrales empleando el test de χ^2 (Figura 1.1), la modelación estadística de las series de máximas lluvias anuales diarias realizándose una estimación regional de parámetros y cuantiles contrastándose cuatro modelos de ley de distribución —valores extremos con 2 componentes (TCEV), valores extremos generalizados (GEV), log-Pearson III y SQRT-ET máx— que llevo a la elección de esta última como más adecuada o el análisis de la distribución espacial del valor medio, estimado mediante técnicas de Krigado a partir de los datos de más de 2.000 estaciones con más de 20 años. (Fig. 1.2).

Hay que tener en cuenta que la predicción de sucesos hidrológicos extremos como son las crecidas, está limitada por la cantidad y calidad de los datos hidro-meteorológicos y, en general, el análisis regional es el más adecuado cuando no

[*] Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Director de Programa. Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, (MF de Fomento).

[**] Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de la Oficina de Planificación. Confederación Hidrográfica del Júcar.

[***] Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

FIGURA 1.1. Delimitación de regiones.

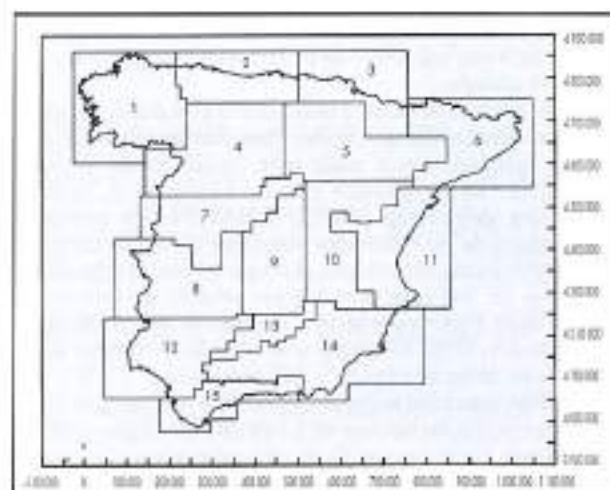


FIGURA 1.2. Zonas geográficas para la interpolación por krigado.

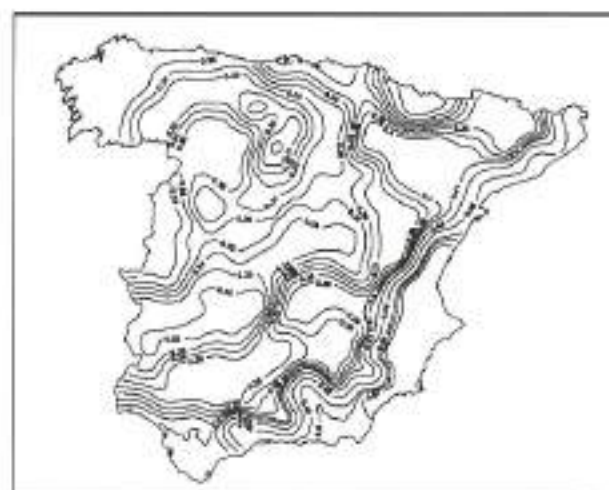


FIGURA 1.3. Isolíneas del valor del coeficiente de variación.

se dispone de series suficientemente largas (J.D. Salas, 1995).

Este hecho subraya la necesidad de ofrecer los resultados generados por este tipo de métodos aplicados a escala nacional, más aún dado que su complejidad, en general, hace que no sean asequibles para estudios concretos.

Además de las aplicaciones GISPLU y MAXPLU que se describen, en más detalle, a continuación, se han elaborado una serie de planos en los que se representan a escala 1/800.000 las isolíneas del coeficiente de variación (Cv) (Fig. 1.3) y las del valor medio (P) para el territorio peninsular. En estos planos (Fig. 1.4) se ha representado tam-

bién y con objeto de servir de ayuda a la localización del punto en el que se va a realizar la obtención de los cuantiles, la red hidrográfica obtenida a partir de la base 1/1.000.000 del Instituto Geográfico Nacional y la red de carreteras y poblaciones facilitada por la Dirección General de Carreteras.

Parte de la información contenida en estas capas ha sido simplificada con objeto de facilitar la lectura del coeficiente de variación y la del valor medio, buscándose, en todo caso, la presencia de suficientes referencias geográficas que ayuden a la localización en el plano del punto o puntos dónde se vayan a realizar los cálculos.

En los planos, se incluye una tabla conteniendo los cuantiles adimensionales de la ley SQRT-ET máx en función de su C_v (Tabla 1.1 y Fig. 1.5) con lo que el proceso de obtención de los cuantiles a partir de los planos se reduce a:

- 1) Localización en los planos del punto geográfico deseado.
- 2) Estimación mediante las isolíneas representadas del coeficiente de variación (C_v) y del valor medio (P).
- 3) Obtención mediante la tabla 1.1 a partir del periodo de retorno considerado (T) y el coeficiente de variación (C_v) del cuantil regional Y_t .
- 4) Realizar el producto del cuantil regional Y_t por el valor medio P , obteniéndose el cuantil local buscado.

2. APLICACIÓN GISPLU

La aplicación GISPLU se ha realizado sobre el SIG comercial IDRISI para su utilización en un entorno de ordenador personal. Esta aplicación está constituida por un conjunto de más de 100 módulos que pueden ser utilizados de forma independiente o de forma interactiva a través de un menú único. En realidad, de este conjunto, sólo un reducido número de módulos ha sido empleado con vistas a la visualización y consulta geográfica de las distintas capas de información.

Los SIG matriciales, como es el caso de IDRISI, organizan la información existente en capas unitarias, cada una de las cuales contiene los datos de un determinado tipo en todas las celdas del mallado considerado. Este conjunto de información espacial debe georeferenciarse, es decir localizarse respecto a un sistema conocido de coordenadas. La georeferenciación adoptada, que cubre la totalidad del territorio peninsular, ha consistido en:

- sistema de referencia: coordenadas UTM referidas al huso 30.
- unidades de referencia: metros.
- coordenadas de los bordes inferior (y_{min}), superior (y_{max}), izquierdo (x_{min}) y derecho (x_{max}) de la malla considerada.

$$\begin{aligned} x_{min} &= -116250 & x_{max} &= 1161250 \\ y_{min} &= 3893750 & y_{max} &= 4971250 \end{aligned}$$

El anterior sistema de referencia, junto con la resolución espacial adoptada de 2500 m x 2500 m, define una matriz de 511 columnas y 431 filas y permite situar geográficamente el valor numérico asignado a cada celda.

Las capas de información pluviométrica obtenidas en el entorno IDRISI han sido las siguientes:

C_v	2	5	10	25	50	100	200	500
0.30	0.935	1.194	1.377	1.625	1.823	2.022	2.251	2.541
0.31	0.932	1.198	1.385	1.640	1.854	2.068	2.296	2.602
0.32	0.929	1.202	1.400	1.671	1.884	2.098	2.342	2.663
0.33	0.927	1.209	1.415	1.686	1.915	2.144	2.388	2.724
0.34	0.924	1.213	1.423	1.717	1.930	2.174	2.434	2.785
0.35	0.921	1.217	1.438	1.732	1.961	2.220	2.480	2.831
0.36	0.919	1.225	1.446	1.747	1.991	2.251	2.525	2.892
0.37	0.917	1.232	1.461	1.778	2.022	2.281	2.571	2.953
0.38	0.914	1.240	1.469	1.793	2.052	2.327	2.617	3.014
0.39	0.912	1.243	1.484	1.808	2.083	2.357	2.663	3.067
0.40	0.909	1.247	1.492	1.839	2.113	2.403	2.708	3.128
0.41	0.906	1.255	1.507	1.854	2.144	2.434	2.754	3.189
0.42	0.904	1.259	1.514	1.884	2.174	2.480	2.800	3.250
0.43	0.901	1.263	1.534	1.900	2.205	2.510	2.846	3.311
0.44	0.898	1.270	1.541	1.915	2.220	2.556	2.892	3.372
0.45	0.896	1.274	1.549	1.945	2.251	2.586	2.937	3.433
0.46	0.894	1.278	1.564	1.961	2.281	2.632	2.983	3.494
0.47	0.892	1.286	1.579	1.991	2.312	2.663	3.044	3.55
0.48	0.890	1.289	1.595	2.007	2.342	2.708	3.098	3.616
0.49	0.887	1.293	1.603	2.022	2.373	2.739	3.128	3.677
0.50	0.885	1.297	1.610	2.052	2.403	2.785	3.189	3.738
0.51	0.883	1.301	1.625	2.068	2.434	2.815	3.220	3.779
0.52	0.881	1.308	1.640	2.098	2.464	2.861	3.261	3.860

TABLA 1.1. Cuantiles adimensionales de la ley SQRTET_{max}.

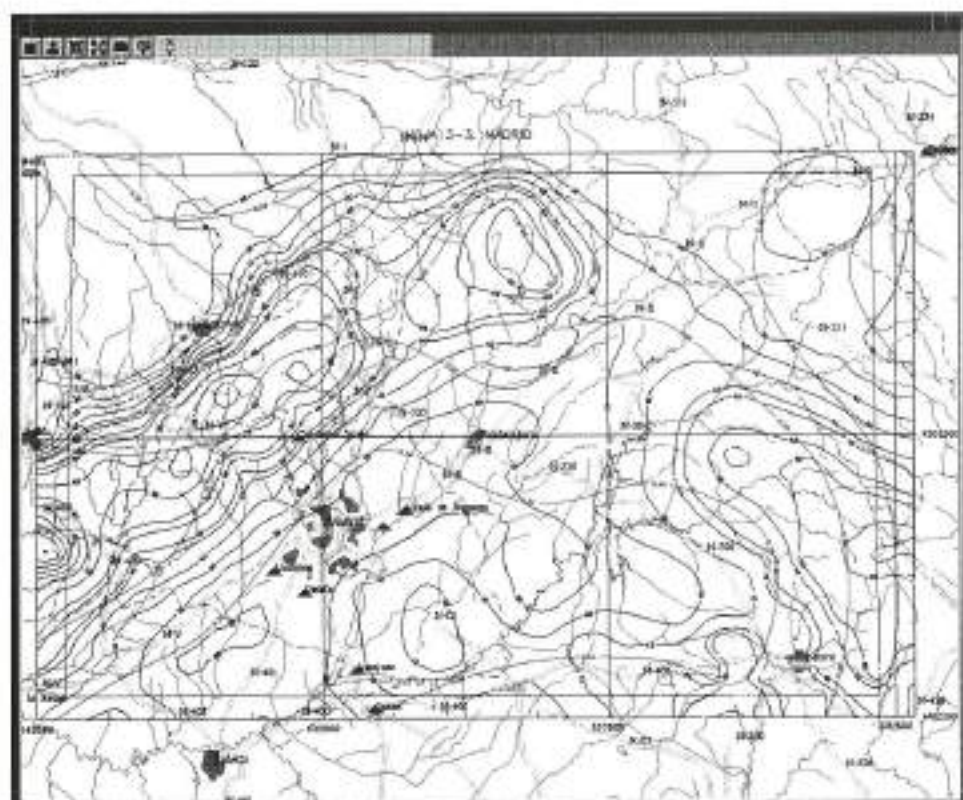


FIGURA 1.4. Representación isoclinas del valor medio y del coeficiente de variación.

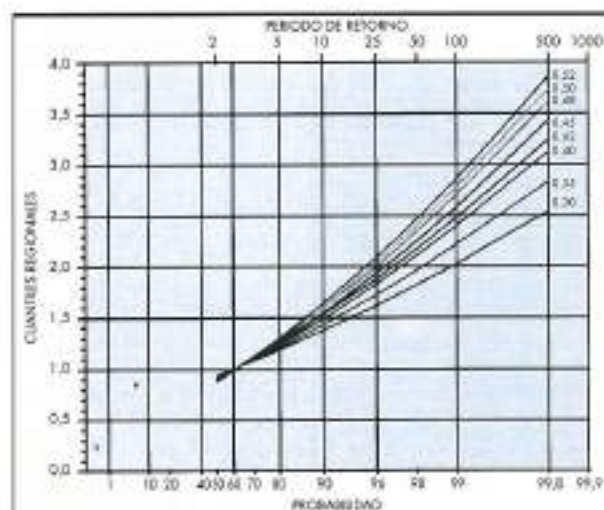


FIGURA 1.5. Relación entre los cuantiles regionales y el coeficiente de variación.

a) Valor medio (P).

La metodología adoptada para el análisis espacial de la variable P ha conducido a su estimación en los puntos de un malla coincidente con el adoptado en el SIG, por lo que sólo fue necesario una transformación de formato. Como resultado del proceso se dispone de la capa de información visualizada en la Figura 2.1.

b) Coeficiente de variación (C_v).

El plano de isoclinas de C_v mostrado en la Figura 1.3. fue obtenido mediante una interpolación espacial en una ma-

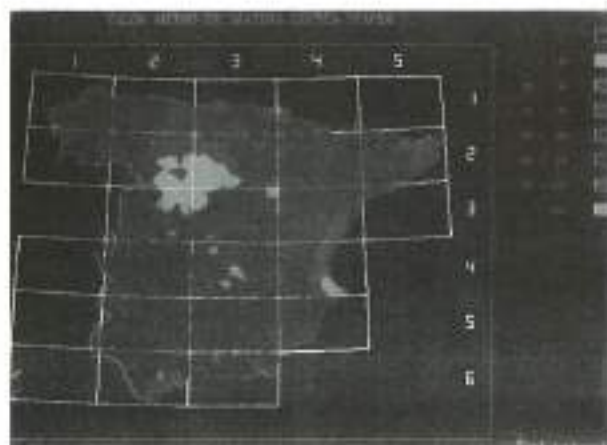


FIGURA 2.1. Distribución espacial del valor medio.

lla por el método de inverso de la distancia al cuadrado. Los datos empleados para la interpolación fueron las 1545 estaciones "básicas" a las que se asigna el C_v regional correspondiente. Este mismo proceso, pero sobre una malla idéntica a la adoptada en el SIG, ha permitido la obtención de la capa de información del C_v visualizada en la Figura 2.2.

c) Cuantiles regionales (Y_i).

La relación entre el C_v y los valores de Y_i (Figura 1.5) ha sido empleada para obtener, a partir de la capa del C_v , las capas de cuantiles regionales correspondientes a los siguientes períodos de retorno: 25, 100, 200 y 500 años. Esta trans-

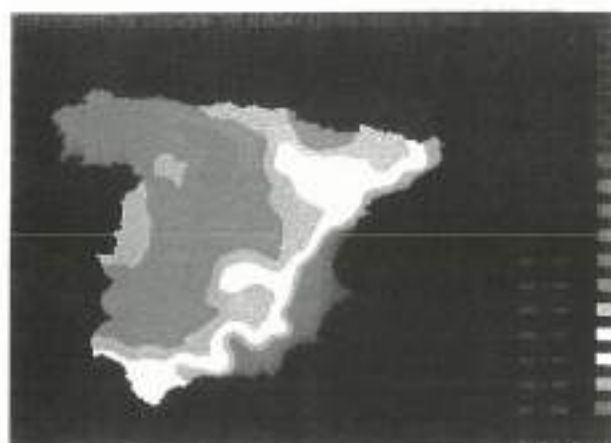


FIGURA 2.2. Distribución espacial del coeficiente de variación.

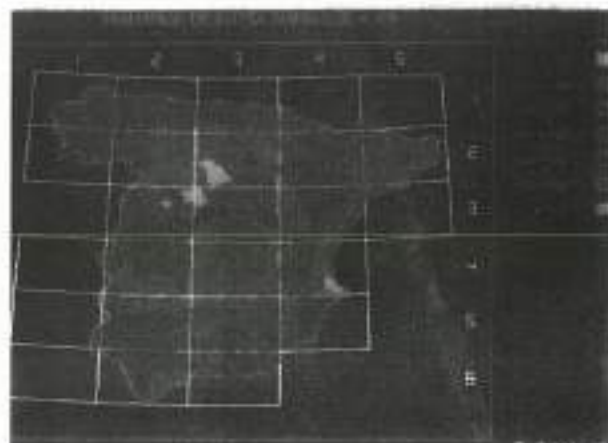


FIGURA 2.3. Distribución espacial del cuantil de 100 años.

formación fue realizada mediante un programa FORTRAN desarrollado al efecto y que realiza el cálculo celda a celda.

d) Cuantiles locales (X_p).

Una vez obtenidas las capas correspondientes al valor medio (P) y los cuantiles regionales (Y_p), sólo resta efectuar el producto para obtener las capas de cuantiles locales (X_p) correspondientes a los periodos de retorno de 25, 100, 200 y 500 años. (Fig. 2.3.).

Este producto entre 2 capas de información es una de las posibilidades de la denominada "álgebra de mapas" de que disponen los SIG matriciales y es fácilmente realizado mediante IDRISI.

La obtención en un entorno SIG de las capas de información anteriores ha permitido emplear fácilmente algunas de las posibilidades que ofrecen estas herramientas para desarrollar la aplicación GISPLU. En particular se ha empleado el módulo de visualización de IDRISI que dispone de las siguientes posibilidades:

- visualización de mapas con los resultados en la forma de "mosaico" característica de los SIG matriciales.
- consulta de forma sencilla, con la ayuda del "ratón" del ordenador, del valor numérico asignado a una determinada celda.
- modificación de la "ventana" de visualización y consulta, mediante un efecto de "zoom" definido con el "ratón" del ordenador.

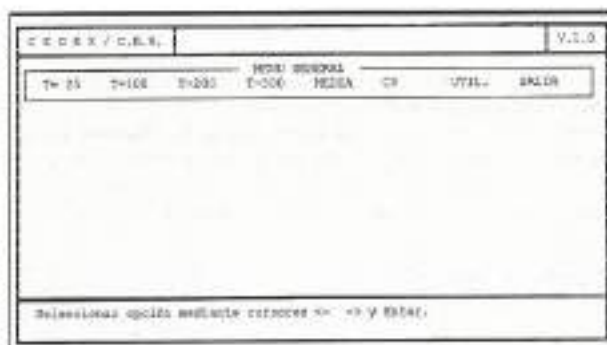


FIGURA 2.4. Menú Principal de la aplicación GISPLU.

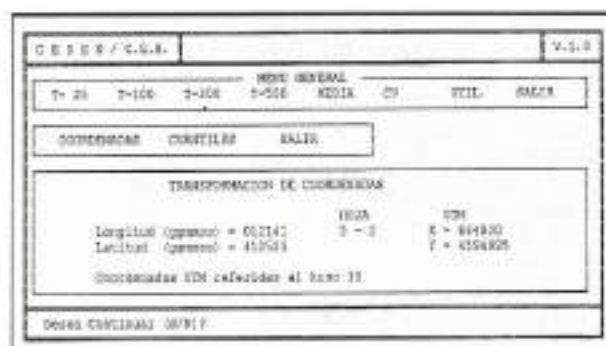


FIGURA 2.5. Obtención de las coordenadas UTM del huso 30 partiendo de coordenadas geográficas.

Las posibilidades generales de la aplicación GISPLU, mostradas en el menú principal (Figura 2.4.), son las siguientes:

- consulta de cuantiles correspondientes a 25, 100, 200 y 500 años.
- consulta de valores de la media P y del C_v .
- empleo de unas utilidades que permiten la obtención de las coordenadas UTM del huso 30 a partir de las coordenadas geográficas respecto a Greenwich (Figura 2.5) y la estimación de la lluvia correspondiente a cualquier periodo de retorno a partir del valor de su media y su coeficiente de variación (Figura 2.6).

La consulta de valores se realiza sobre la base de los 25 planos de la serie 4C del Servicio Cartográfico Militar y requiere como referenciación geográfica las coordenadas UTM del huso 30 (Figura 2.7). La consulta puede realizarse en una "ventana" interior a estos planos.

3. APLICACIÓN MAXPLU

La aplicación MAXPLU se creó como complemento a GISPLU ya que, por una parte, permite de forma muy cómoda la obtención numérica de los cuantiles y, por otra, permite independizarse de un SIG comercial como es el caso de IDRISI.

C O D I G O / C I E N		V. I. O																											
5- 25	OBTENCIÓN DE CUANTILES	SALIR																											
MODA = 35 CV = 0.12		P. Periodo = 100.00 P. Escala = 0.70																											
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>T (Mes)</th> <th>P (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>13</td></tr> <tr><td>2</td><td>13</td></tr> <tr><td>3</td><td>42</td></tr> <tr><td>4</td><td>42</td></tr> <tr><td>5</td><td>49</td></tr> <tr><td>6</td><td>49</td></tr> <tr><td>7</td><td>56</td></tr> <tr><td>8</td><td>56</td></tr> <tr><td>9</td><td>75</td></tr> <tr><td>10</td><td>75</td></tr> <tr><td>11</td><td>90</td></tr> <tr><td>12</td><td>90</td></tr> </tbody> </table>	T (Mes)	P (mm)	1	13	2	13	3	42	4	42	5	49	6	49	7	56	8	56	9	75	10	75	11	90	12	90		
T (Mes)	P (mm)																												
1	13																												
2	13																												
3	42																												
4	42																												
5	49																												
6	49																												
7	56																												
8	56																												
9	75																												
10	75																												
11	90																												
12	90																												
Pulse una tecla para continuar																													

FIGURA 2.6. Estimación de cuantiles para cualquier periodo de retorno.

En la realización de la aplicación se procuró hacer ésta lo más sencilla posible para el usuario y que fuera muy fácilmente conectable con otras aplicaciones pudiendo ejecutarse a través de bloques "batch" o a través de un menú interactivo.

MAXPLU calcula la precipitación asociada a un determinado periodo de retorno para unos o varios puntos a partir de un sencillo fichero ASCII de entrada definido por el usuario. Este fichero contiene tantas líneas como puntos vayan a calcularse, constando cada línea de cuatro campos: dos para la introducción de las coordenadas, geográficas o UTM del punto, un tercero para indicar el huso (en caso de coordenadas geográficas se deja en blanco) y un cuarto para indicar el periodo de retorno deseado. El fichero de salida es también ASCII e indica para cada punto el coeficiente de variación, la precipitación media y la precipitación para el periodo de retorno indicado.

4. DESARROLLO DE LAS APLICACIONES

Como ya se ha indicado GISPLU y MAXPLU son meros visualizadores de resultados de un trabajo de modelización estadística de máximas lluvias a escala nacional. El notable incremento que se produce en la información pluviométrica disponible hace necesario una actualización periódica de los resultados alcanzados, pues hay que tener en cuenta que la calidad del análisis puede mejorarse si, por ejemplo, se llega a una mayor densidad de estaciones pluviométricas y, aunque parezca algo evidente, no debe olvidarse que nuevos datos modifican los resultados de los análisis estadísticos realizados.

Por otra parte la obtención de los cuantiles de lluvia no es un fin en sí, sino que suele ser un paso previo a la obtención de otras magnitudes. Así los resultados de la modelización estadística están siendo integrados en otras aplicaciones como una parte de las mismas. Por ejemplo y dentro de la aplicación SIMPA, que se desarrolla en detalle en otro artículo de esta publicación, se está desarrollando un módulo de crecidas que al conectar la obtención de los cuantiles con la estimación de números de curva y la obtención a partir del modelo digital del terreno de la cuenca de sus características físicas, permite, mediante la aplicación del método racional, el cálculo inmediato de caudales de diseño.

REFERENCIAS

CUNNANE C., 1987: "Review of statistical models for flood frequency estimation". Regional Flood Frequency Analysis, 49-95, Ed. V.P. Singh. Reidel Publishing Company.

C O D I G O / C I E N		V. I. O																										
5- 25	CONSULTA DE CUANTILES Y MEDIAS	SALIR																										
PUNTO NACIONAL PUNTO 1: 400.000																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>1-1. LA CORUÑA</th> <th>2-1. VIGO</th> <th>3-1. BILBAO</th> <th>4-1. MADRID</th> <th>5-1. TORRE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1-2. ORENSE</td> <td>2-2. VALLADOLID</td> <td>3-2. BURGOS</td> <td>4-2. BARCELONA</td> <td>5-2. SANTO</td> </tr> <tr> <td>2-3. SALAMANCA</td> <td>3-3. MEDINA</td> <td>4-3. TERUEL</td> <td>5-3. TARRAGONA</td> <td>1-4. LISBONA</td> </tr> <tr> <td>3-4. BADAJOZ</td> <td>4-4. CIUDAD R.</td> <td>5-4. VALENCIA</td> <td>1-5. SEVILLA</td> <td>2-5. SEVILLA</td> </tr> <tr> <td>3-5. ZARAGOZA</td> <td>4-5. BURGOS</td> <td>5-5. MADRID</td> <td>2-6. MADRID</td> <td>3-6. MADRID</td> </tr> </tbody> </table>				1-1. LA CORUÑA	2-1. VIGO	3-1. BILBAO	4-1. MADRID	5-1. TORRE	1-2. ORENSE	2-2. VALLADOLID	3-2. BURGOS	4-2. BARCELONA	5-2. SANTO	2-3. SALAMANCA	3-3. MEDINA	4-3. TERUEL	5-3. TARRAGONA	1-4. LISBONA	3-4. BADAJOZ	4-4. CIUDAD R.	5-4. VALENCIA	1-5. SEVILLA	2-5. SEVILLA	3-5. ZARAGOZA	4-5. BURGOS	5-5. MADRID	2-6. MADRID	3-6. MADRID
1-1. LA CORUÑA	2-1. VIGO	3-1. BILBAO	4-1. MADRID	5-1. TORRE																								
1-2. ORENSE	2-2. VALLADOLID	3-2. BURGOS	4-2. BARCELONA	5-2. SANTO																								
2-3. SALAMANCA	3-3. MEDINA	4-3. TERUEL	5-3. TARRAGONA	1-4. LISBONA																								
3-4. BADAJOZ	4-4. CIUDAD R.	5-4. VALENCIA	1-5. SEVILLA	2-5. SEVILLA																								
3-5. ZARAGOZA	4-5. BURGOS	5-5. MADRID	2-6. MADRID	3-6. MADRID																								
Seleccione el P. de la lista (1-5) 1-1 Seleccione el P. de la lista (1-5) 1-1																												

FIGURA 2.7. Consulta de cuantiles y medias en base a la serie 4C del Servicio Cartográfico Militar.

ETOH T.; MUROTA A. y NAKANISHI M., 1987: "SQRT-Exponential type distribution of maximum". Regional Flood Frequency Analysis, 253-264, Ed. V.P. Singh. Reidel Publishing Company.

FERRER J.; ARDILES L., 1994: "Análisis estadístico de las series anuales de máximas lluvias diarias en España". Ingeniería Civil núm 95.

FRANCÈS F., 1991: "Utilización de la Información Histórica en el Análisis Regional de las Avenidas". Tesis Doctoral, Univ. Pol. Valencia, 362 pp.

FREND, 1989: "Flow Regimes from Experimental and Network Data, Vol. I, Hydrological Studies". Ed. Institute of Hydrology, Wallingford, 344 pp.

GREENWOOD J. A.; LANDWEHR J. M.; MATALAS, N. C. y WALLIS J. R., 1979: "Probability weighted moments: Definitions and relation to parameters of distributions expressible in inverse form". Water Resour. Res., 15 (5), 1049-1054.

HOSKING J. R. M.; WALLIS J. R. y WOOD E. F., 1985a: "An appraisal of the regional flood frequency procedure in the UK Flood Studies Report". Hydrol. Sci. J., 30, 85-109.

KITE G. W., 1977: "Frequency and Risk Analyses in Hydrology". Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado.

MOPU, 1990: "Instrucción de Carreteras. Drenaje. Norma 5.2-IC, Dirección General de Carreteras.

MOPU, 1978: "Isolines de precipitaciones máximas previsibles en un día". Dirección General de Carreteras.

REED D. W., 1992: "Rainfall frequency analysis for flood design". Preproceedings of the NATO ASI on "Copyng with Floods", E. Majorana Centre, Erice, Noviembre 3-15, 17 pp.

ROSSI F., 1990: "Uncertainties in the Predictions of Floods in the Mediterranean Area". Pre-proceeding on the Prediction and Perception of Natural Hazards, Perugia, Italia, Octubre.

ROSSI F.; FIORENTINO, M. y VERSACE P., 1984: "Two component extreme value distribution for flood frequency analysis". Water Resour. Res., 20 (7), 847-856.

SAENZ DE ORMIJANA F.; HIDALGO CASTRO, F.J.; SANTA PÉREZ A., 1991: "Estimación de precipitaciones máximas mediante el método regional del índice de avenida". Rev. Obras Publ., Febrero, 9-22.

USWRC, 1961: "Guidelines for determining flood flow frequency". Bulletin 17B, Hydrology Committee, Water Resources Council, Washington.

WALLIS J. R.; MATALAS N. C. y SLACK, J. R., 1974: "Just a moment!". Water Resour. Res., 10(2), 211-219.

WILTSHIRE S., 1986: "Identification of homogeneous regions for flood frequency analysis". J. Hydrol., 84, 287-302.

World Meteorological Organization, 1989: "Statistical Distributions for Flood Frequency Analysis". WMO Operational Hydrology Report N. 33, 73 pp.