

Precipitaciones máximas en el Campo de Dalías y vertiente meridional de la Sierra de Gádor (Almería)

Extreme rainfall in Campo de Dalías and Southern edge of Sierra de Gador (Almeria)

W. Martín-Rosales, A. Pulido-Bosch, A. Vallejos y M. López-Chicano

G.I. Recursos Hídricos y Geología Ambiental. Facultad de Ciencias, 18071-Granada

ABSTRACT

A comparative analysis was carried out between two classical statistical models of rainfall: the extreme annual value series model, applying the Gumbel distribution, and the partial duration series method. Both were applied to Campo de Dalías and the southern edge of the Sierra de Gador, a semi-arid Mediterranean area. Though the partial duration series is clearly superior when measuring over a short period of time, the Gumbel distribution for extreme annual values has the advantage of simplicity and speed of application for longer duration series.

Key words: Extreme rainfall; partial duration series; annual maximum series; Gumbel distribution; Poisson distribution; exponential distribution

Geogaceta, 20 (6) (1996), 1251-1254
ISSN:0213683X

Introducción

Es bien conocido que el sureste español y concretamente la provincia de Almería constituyen áreas vulnerables a la generación de episodios violentos de escorrentía. La escasez de datos foronómicos, sobre todo en cuencas de pequeña y mediana extensión, obliga a abordar el análisis de crecidas de una forma indirecta; el estudio de los registros pluviométricos a nivel diario, así como de las características morfológicas y litológicas de las cuencas objeto de interés, aportan información valiosa acerca de la magnitud y la distribución temporal de tales avenidas; lógicamente la fiabilidad de los resultados dependerá de la calidad y extensión de las series pluviométricas disponibles, así como del grado de precisión de los datos geomorfológicos y litológicos.

El estudio de las precipitaciones máximas en 24 horas, aplicado a 18 estaciones situadas en el Campo de Dalías y vertiente sur de la Sierra de Gádor (figura 1), es abordado aquí desde una perspectiva probabilística o estocástica, teniendo en cuenta el carácter aleatorio de las lluvias extremas. El objeto, por tanto, de este tipo de análisis, es efectuar una estimación o predicción de la precipitación, con una determinada probabilidad de no ser superada:

$$\text{Prob}(X \leq x) = F(x)$$

Mediante la utilización de las distribuciones de probabilidad, el estudio fre-

cuencial de los datos hidrológicos establece las relaciones entre la magnitud de los eventos extremos y su frecuencia de ocurrencia. El establecimiento de las relaciones entre la precipitación máxima y el período de retorno, o lo que es igual, la estimación de los cuantiles x_T , es el resultado de este tipo de análisis, que puede llevarse a cabo mediante los siguientes modelos estadísticos:

- Modelo de valores máximos anuales
- Modelo de series de duración parcial
- Modelo de series temporales

La utilización del último tipo sólo se justifica en caso de incumplimiento de la hipótesis habitual de independencia de los sucesos, quedando fuera del alcance de este trabajo, que hemos centrado en los dos primeros.

El análisis de las series de valores

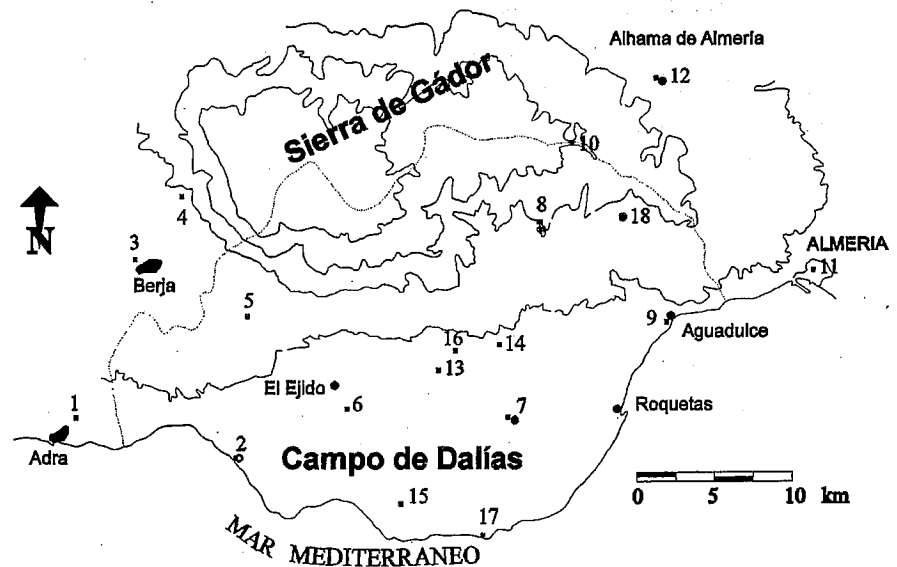


Fig. 1.- Localización geográfica del área de estudio y de las estaciones pluviométricas seleccionadas; los números corresponden a los códigos asignados en la tabla 2.

Fig. 1.- Geographical location of the study area and of the chosen rain gauges. The numbers correspond to the codes given in the Table 2.

máximos anuales es una de las aproximaciones más extendidas y utilizadas en el estudio frecuencial de sucesos extremos. Sin embargo existen ciertos inconvenientes o desventajas en su aplicación. En una determinada serie de datos, por ejemplo, el segundo o el tercer máximo evento ocurrido en un determinado año puede llegar a superar el mayor valor de otro año particular. Asimismo, y dado que el período de registro de la mayoría de las estaciones meteorológicas suele ser de tamaño reducido o moderado (< 50 años), las estimaciones del valor probable de precipitación para un período de retorno medio están afectadas por un elevado error estándar. Estas desventajas quedan resueltas en parte mediante el método de las series de duración parcial, comúnmente conocido como modelo PDS (Partial Duration Series) o POT (Peak Over Threshold) en el cual todos los sucesos cuya magnitud sea superior a un umbral preestablecido se incluyen en el análisis. Es además una herramienta relativamente eficaz que permite, al menos teóricamente, conseguir una reducción de la varianza en los cuantiles, y por tanto disminuir su correspondiente error estándar de estimación,

Metodología de estudio

Distribución de valores extremos de tipo I: La distribución de Valores Extremos de Tipo I, también denominada doble exponencial o distribución Gumbel, debido a la contribución de dicho autor en el desarrollo teórico de esta ley de probabilidad (Gumbel, 1947 y 1958), posee grandes atractivos desde un punto de vista estadístico, ya que son sólo dos los parámetros a calcular a partir de la muestra. La función de distribución acumulada $F(x)$ y la función de densidad de probabilidad $f(x)$ de esta ley teórica vienen dadas por las siguientes expresiones:

$$F(x) = \text{Prob}(X \leq x_T) = \exp[-\exp\{-(x_T - \epsilon) / \alpha\}]$$

$$f(x) = (1/\alpha) \exp[-(x - \epsilon) / \alpha] \exp\{-\exp[-(x - \epsilon) / \alpha]\}$$

donde α es el parámetro de escala y ϵ es el parámetro de localización, también llamado valor central o moda. $F(x)$ y el período de retorno T están relacionados por medio de la expresión:

$$F(x) = \text{Pr}(X \leq x_T) = 1 - 1/T$$

por lo que

$$x_T = \epsilon - \alpha \ln[-\ln(1 - 1/T)] = \epsilon + \alpha y_T$$

donde

$$y_T = -\ln[-\ln(1 - 1/T)]$$

y_T recibe el nombre de variable reducida o variable de Gumbel.

FECHA	ESTACION	SITUACION	P (mm)
7-Sep-1989	Roquetas-Faro	Campo Dalías	116
9-Oct-1966	Alhama de Almería	Sierra de Gádor	114
11-Dic-1957	Berja	"	118
5-Dic-1958	Berja	"	100
6-Nov-1982	Berja-Castala	"	118
13-Ene-1970	Dalías	"	152
10-Oct-1966	Alhama-La Zarba	"	198
7-Nov-1982	Alhama-La Zarba	"	127

Tabla 1.- Precipitaciones máximas en 24 horas iguales o superiores a 100 mm ocurridas en el área estudiada (según datos del INM), con indicación de la fecha en que tuvieron lugar y la estación donde se registraron.

Table 1.- Maximum rainfall in 24 hours of 100 mm or more registered in the study area (according to I.N.M. data) indicating the date and location occurrence.

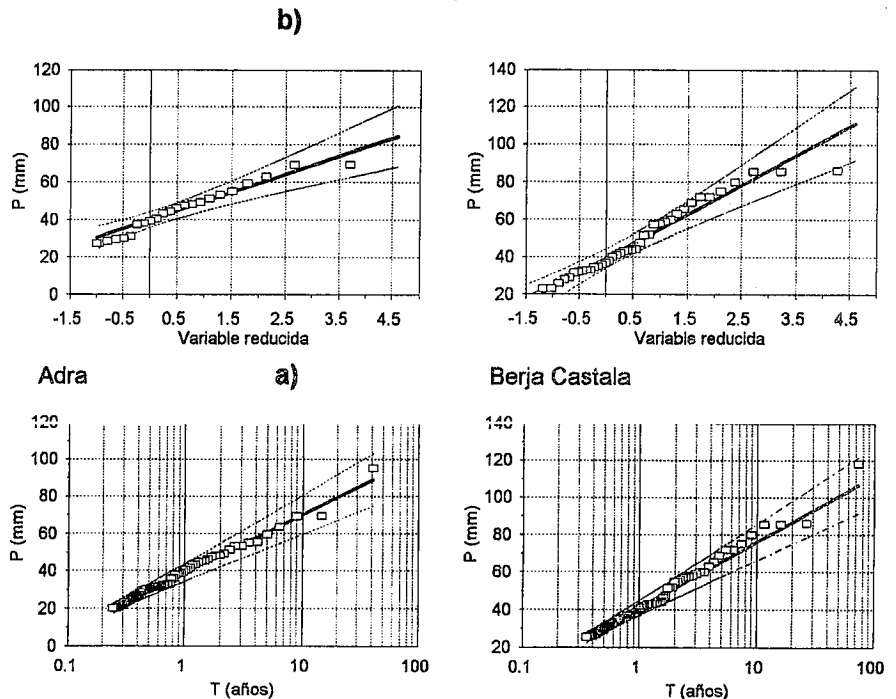


Fig. 2.- Ajuste gráfico de las series de precipitaciones diarias al modelo de series de duración parcial (a) y a la distribución Gumbel (b)

Fig. 2.- Graphical fit of the series of daily rainfall readings to (a) the partial duration series model and (b) the Gumbel distribution

Modelo básico de series de duración parcial

El modelo de series parciales fue desarrollado por Shane y Lynn (1964), Bernier (1967) y Todorovic y Zelenhasic (1970), y ha sido en numerosas ocasiones objeto de estudios de detalle (Tavares y Da Silva, 1983; Rosbjerg, 1985; Buisland, 1990; Rasmussen y Rosbjerg, 1991). Está basado en la modelización de los eventos máximos (en nuestro caso precipitaciones en 24 horas) que exceden

o superan un cierto umbral x_0 . El modelo asume en primer lugar que el número de sucesos ocurridos cada año sigue una distribución de Poisson y que los valores de la variable estocástica a analizar son independientes y están distribuidos según una ley exponencial con parámetro α . La predicción según el modelo básico descrito se realiza por medio de la siguiente expresión:

$$x_T = x_0 + \alpha(\ln \beta + \ln T)$$

X_T es el cuantil que representa el valor probable de precipitación correspondien-

ESTACION	N	MODELO GUMBEL				MODELO PDS			
		n	X ₂	X ₁₀	X ₅₀	n	X ₂	X ₁₀	X ₅₀
Adra	1	23	45	69	90	94	48	70	91
Balerna	2	32	32	54	72	78	37	55	72
Berja	3	34	43	78	109	73	52	82	111
Berja-Castala	4	41	46	79	108	116	52	76	101
Dalfas	5	25	40	74	104	57	50	77	104
El Ejido	6	16	43	68	90	45	45	67	90
Mojonera Felix	7	9	33	67	97	27	35	52	69
Felix	8	18	43	74	101	53	47	71	95
Aguadulce	9	25	29	46	61	44	31	48	66
Alhama-La Zarba	10	27	58	106	148	84	69	104	140
Almería	11	30	27	44	59	80	31	45	60
Alhama de Almería	12	30	36	60	81	81	40	60	79
Llanos de la Celada	13	10	44	75	103	30	50	75	100
Mojonera E.I.C.H.I.	14	9	33	51	67	26	36	55	74
El Ejido- QUASH	15	5	34	58	79	14	41	63	87
Las Palmerillas	16	10	38	66	91	***	***	***	***
Roquetas-Faro	17	7	41	94	140	21	50	78	109
Enix	18	14	46	74	99	42	50	70	91

Tabla 2.- Valores probables de precipitación para períodos de retorno de 5 (x5), 25 (x25) y 50 años (x50); N: código de identificación en la figura 1; n: número de datos considerados en el modelo.

Table 2.- Probable rainfall values for return periods of 5, 25 and 50 years; N: identification codes in Figure 1; n: quantity of data considered by the model.

te a un período de retorno de T años en las series de duración parcial. Un problema relacionado con la utilización de los modelos de máximos anuales y series de duración parcial es que los intervalos de recurrencia calculados a partir de ambos procedimientos no son directamente comparables; es decir, el valor de un evento con un período de retorno de 5 años en el dominio de las series de máximos anuales y el correspondiente al obtenido a partir de las Series de Duración Parcial no son equivalentes. La expresión propuesta por Langbein (1949) permite transformar los intervalos de recurrencia de las series parciales en aquéllos correspondientes a las series

$$T_p = - \{1/[\ln(1-1/T_a)]\}$$

donde T_a y T_p son los períodos de retorno en las series de máximos anuales y de duración parcial, respectivamente; T_p es menor que T_a , ya que en el modelo de series parciales puede ser incluido más de un suceso por año.

Resultados

Se seleccionaron 18 estaciones pluviométricas con registros a nivel diario y aportados por el Centro Zonal de Málaga del Instituto Nacional de Meteorología; las precipitaciones máximas diarias que han tenido lugar durante los 41 últimos años, y según los registros consultados, oscilaron entre 198 mm/día medidos en la estación de La Zarba (figura 1) en Octubre de 1966 y 51 mm/día en la estación de Las Palmerillas, en el límite entre la Sierra y el Campo de Dalfas. Hay que indicar que los valores de precipitación máxima en 24 horas no son tan elevados como a priori se pudiera pensar, habida cuenta de las peculiaridades pluviométricas del dominio climático considerado. De hecho, en las 18 estaciones seleccionadas (cada una de ellas con períodos de registro diferentes), únicamente se ha superado el umbral de 100 mm en 8 ocasiones, de las cuales tan sólo una corresponde al Campo de Dalfas (Roquetas de Mar-Faro Sa-

binar), tal y como se puede apreciar en la tabla 1.

El valor medio de la precipitación diaria máxima es netamente superior en la Sierra que en el Campo de Dalfas, con valores de 48 mm y 39 mm, respectivamente. Hay que tener presente, no obstante, que la media muestral está sobreestimada por la presencia de los outliers o valores anómalos, hecho que no ocurre con la mediana (percentil 50 o valor central de la distribución de los datos clasificados por orden de magnitud), cuyos valores correspondientes a la sierra y al Campo son, respectivamente, 43 y 36 mm en 24 horas.

Como fase previa a la aplicación del modelo de series parciales, fue preciso verificar la independencia de los valores de precipitación seleccionados, labor que se llevó a cabo mediante el test de correlación secuencial (Anderson, 1942, in Llamas, 1993). Asimismo hubo que comprobar, por una parte, si las precipitaciones tenían lugar según un proceso tipo Poisson, y, por otro lado, si las magnitudes de las mismas lo hacían según la ley exponencial. Para ello aplicamos respectivamente los test de χ^2 y Kolmogorof-Smirnov. Ambas hipótesis fueron aceptadas a un nivel de significación de 0.01. En lo referente a las series de valores máximos anuales, la validación del modelo de distribución Gumbel se efectuó de forma satisfactoria por medio del Test de correlación gráfica de probabilidad (PPCC) de (1986).

Las discrepancias más significativas entre los resultados obtenidos al aplicar ambos métodos (tabla 2) se detectaron en las estaciones de La Mojonera de Felix, Roquetas-Faro Sabinar, Mojonera E.I.C.H.I. y El Ejido-QUASH, que constituyen, por otro lado, las muestras de menor tamaño. La disimilitud entre los cuantiles estimados por los dos modelos aplicados es tanto mayor cuanto más elevado es el período de retorno considerado. En las estaciones de la Mojonera de Felix y Roquetas-Faro Sabinar, el resultado obtenido a partir de la aplicación del modelo de series de duración parcial es sensiblemente inferior al correspondiente del ajuste a la distribución Gumbel de los máximos anuales, valores que consideramos anómalamente altos en ambos casos. La razón estriba en el hecho de que las series en cuestión poseen períodos de registro excesivamente cortos, y por tanto, los outliers ejercen una gran influencia sobre el resto de las observaciones. En las restantes estaciones los resultados de ambos modelos son muy similares, y las diferencias entre ellos nunca llegan a alcanzar el 10 %.

Por otra parte, el error estándar de es-

MODELO	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)						
	2	5	10	15	25	50	100
PDS	4	6	7	8	9	11	12
AM	4	6	9	10	12	14	17

Tabla 3.- Error estándar medio de las estaciones analizadas y para diversos períodos de retorno en los modelos de series parciales (PDS) y máximas anuales según la distribución teórica de Gumbel (AM).

Table 3.- Mean standard error of the gauges analyzed for various return periods in the partial duration series (PDS) models and annual extremes according to Gumbel's theoretical distribution.

timación, definido como $(\text{Var } \{x_T\})^{1/2}$ (Cunnane, 1973.), es casi siempre inferior en el modelo de series parciales (tabla 3), lo cual resulta lógico si tenemos en cuenta que dicho parámetro está fuertemente condicionado por el tamaño de la muestra.

Se deduce que cuando los registros diarios de precipitación son suficientemente largos, los resultados obtenidos por ambos métodos coinciden de forma muy aceptable, tal y como evidencia la figura 2; en ella se recogen, de forma gráfica, los resultados del análisis probabilístico efectuado en algunas estaciones. Se incluyen asimismo los intervalos de confianza del 95 %. En el caso del ajuste a la distribución Gumbel, las precipitaciones se representaron en función de la variable reducida y_T , con el objeto de obtener una relación lineal.

A pesar de las divergencias comentadas en casos particulares, la distribución espacial de las precipitaciones probables calculadas según el método de las series de duración parcial no difiere de forma significativa de la correspondiente al modelo de Gumbel para valores máximos anuales; tan sólo existirían diferencias en el sector central del Campo de Dalias, sin afectar el esquema de distribución areal deducido del ajuste de las lluvias máximas anuales a la distribución de Gumbel.

Conclusiones

Hemos estimado los valores de precipitación probable para diversos períodos de retorno en el área investigada, utilizan-

do para ello dos procedimientos: el método de las series de duración parcial (PDS), a partir de aquéllos eventos de lluvia independientes que superan un umbral prefijado; y el método de máximas anuales (AM), consistente en seleccionar el valor máximo de cada año y ajustar posteriormente los datos a una distribución teórica, en nuestro caso la doble exponencial o Gumbel.

La ventaja más importante del método de series de duración parcial es que aprovecha mayor cantidad de información, lo que, desde una perspectiva estadística, lo hace mucho mas significativo y exacto. La superioridad del método es evidente cuando se dispone de registros de menos de 15 años. El método de máximas anuales, en muestras de reducido tamaño y con outliers, otorga a éstos un peso importante, hecho que no ocurre en las series parciales al tener éste en cuenta un mayor número de observaciones. Si el número de años de registro disponible es demasiado pequeño el método de máximas anuales resulta imposible de aplicar, o bien sus resultados no son nada fiables.

El modelo de valores máximos anuales aventaja sin embargo al anterior en un aspecto trascendental: su sencillez; además, el hecho de considerar un sólo valor por año asegura prácticamente la independencia de las observaciones, labor que es obligatorio llevar a cabo en el caso de las series parciales. Los valores de precipitación diaria máxima anual constituyen por otra parte una información relativamente fácil de obtener y suelen ser suficientes leyes estadísticas simples (lognormal,

Gumbel, exponencial...) para obtener un ajuste aceptable. En contraposición, la aplicación del método de series parciales obliga a analizar todo el registro diario de cada año y a seleccionar aquellos valores de precipitación superiores a un umbral x_0 determinado previamente; esta operación exige la realización de un test que verifique la independencia de las series. Es preceptivo verificar, asimismo, la ocurrencia de las precipitaciones según un modelo de tipo Poisson, así como 1ª exponencialidad de sus magnitudes, lo que implica la realización de dos test adicionales, todo ello previamente al análisis probabilístico de las lluvias.

Referencias

Anderson, R.L. (1942) *Annals of Mathematical Statistics*; 13:1-13.
 Bernier, J. (1967): *HYD.67*(10) Elec. France.
 Buishand, T.A. (1990): *J. Hydrol.*, 120:35-49.
 Cunnane, C. (1973): *J. Hydrol.*, 257-271.
 Filliben, J.J. (1975): *Technometrics*; 17(1):111-117.
 Gumbel, E.J. (1947): *Trans. Am. Geophys. Union*, 28(6):951-952.
 Gumbel, E.J. (1958): *Statistics of Extremes. Columbia University Press*, New York, pp: 28-34.
 Langbein, W.B. (1949): *Trans. Amer. Geoph. Union*, 30(6):879 881.
 Llamas, J. (1993): *Hidrología general. Principios y aplicaciones*. Servicio editorial de la Universidad del P. Vasco. 635 p.
 Rasmussen, P.F. and Rosbjerg, D.(1991): *Water Resour. Res.*, 27:2875-2883.
 Rosbjerg, D. (1985): *J. Hydrol.*, 76:183-195.
 Shane, R.M. and Lynn, W.R. (1964): *ASCE J. Hydraul. Div.*, 90, 1-20.
 Tavares, L.V. and Da Silva, J.E. (1983): *Partial Duration series method revisited. J. Hydrol.*, 64:1-14.
 Todorovic, P. and Zelenhasic, E. (1970): *Water Resour. Res.*, 6, 1641-1648.
 Vogel, R.M. (1986): *Water Resour. Res.*; 22(4):587-590.