

INFLUENCIA DEL RELIEVE EN LA DISTRIBUCION DE LAS PRECIPITACIONES MAXIMAS: UN EJEMPLO PIRENAICO

José CREUS N.* y Juan PUIGDEFABREGAS T.**

Introducción

Cuando la intensidad de la precipitación excede a la capacidad de infiltración del suelo, el agua sobrante se evacua por escorrentía superficial, convirtiéndose en un agente erosivo de primer orden.

Se ha realizado ya un considerable esfuerzo para definir la distribución de las precipitaciones máximas a nivel nacional (Elías, F., 1963). En el presente trabajo, intentamos estudiar los efectos topográficos sobre la distribución de los valores máximos y sobre la época del año en que éstos se producen. Para ello, y a modo de ejemplo, centramos nuestra atención en una región situada a caballo entre las provincias de Huesca, Zaragoza y Navarra.

La región estudiada se halla muy afectada por la erosión. Además son frecuentes las intervenciones generalizadas del hombre sobre el paisaje: repoblaciones forestales con sus sistemas de terrazas, pistas y vías de saca en los montes, complejos urbanísticos, etc. Pensamos que, dado el ambiente litológico predominante, arcillas y margas muy poco permeables, el conocimiento de las intensidades de precipitación puede ser útil para plantear los sistemas de desagüe y controlar algunos procesos erosivos de importancia.

* Instituto de Estudios Pirenaicos. Apartado 64, Jaca (prov. Huesca).

** Centro pirenaico de Biología experimental. Apartado 64, Jaca (prov. Huesca).

Material y métodos

Para estudiar la distribución regional, hemos utilizado los datos de precipitación máxima en 24 horas de 15 estaciones (mapa 1), localizadas en una región que se extiende desde el Roncal al Sobrarbe y desde la frontera francesa hasta el Somontano o borde meridional prepirenáico. Las series utilizadas tienen una longitud moderada, que oscilan entre 20 y 40 años (tablas 5 y 6).

Hemos completado la información anterior mediante datos referidos a intensidades durante periodos inferiores a 24 horas. Para ello se ha utilizado la estación de Jaca, de la cual existen 10 años de bandas de pluviógrafo (1968-77). Como las bandas son de rotación semanal, no nos ha sido posible considerar periodos más cortos de 1/2 hora.

Cuando se pretende formular previsiones estadísticas sobre la ocurrencia de valores posibles de una variable aleatoria, como la que nos ocupa, es imprescindible ajustar su distribución de frecuencias a una ley de probabilidad conocida. La distribución de frecuencias de los valores extremos de un fenómeno se aparta, muchas veces, de la ley de probabilidad normal (Sneyers, 1960). Hemos comprobado que nuestros datos se ajustan bien a la ley de Gumbel, como ocurre, generalmente, cuando se trata de precipitaciones extremas (Gumbel, E.J., 1962). En consecuencia, hemos adoptado esta ley para realizar nuestras previsiones estadísticas.

Se pueden encontrar detalles sobre su uso práctico de la distribución de Gumbel en Elías, F. (1963), de cuyo trabajo incluimos el siguiente resumen. Se trata de una distribución doble logarítmica de la forma

$$P = e^{-e^{-y}} \quad (1)$$

donde P es la probabilidad de que un valor extremo sea inferior a un cierto valor X ; e es la base de logaritmos neperianos.

De la anterior definición, resulta que $1-P$ es la probabilidad de ocurrencia de un valor extremo igual o mayor que X . El *periodo de retorno* (T) de un valor igual o mayor que X se define, para observaciones equidistantes en el tiempo u otra medida, por,

$$T = 1/(1-P)$$

donde T indica el número de unidades de tiempo —en nuestro caso, años— que deben transcurrir para que el valor máximo alcan-

RELIEVE Y PRECIPITACIONES MAXIMAS

zado iguale o supere el valor X , solamente una vez, como promedio.

Las frecuencias teóricas de la distribución de Gumbel pueden obtenerse a partir de la media (\bar{X}) y desviación típica (S_x) de la serie de valores extremos. Para ello nos hemos servido de las expresiones propuestas por **Chow, V.T.** (1954), en **Elías, F.** (1963):

$$X_T = \bar{X} + S_x K$$
$$K = (y - \bar{y}_n) / S_n$$

donde X_T es el valor con periodo de retorno T , n es el número de valores de la serie, y es la variable reducida que, para cada periodo de retorno seleccionado, se deduce tomando dos veces los logaritmos neperianos en [1]. Por su parte, \bar{y}_n y S_n son la media y la desviación típica de los valores que presenta la variable reducida, los cuales se calculan, a partir de [1], haciendo $P = m / (n + 1)$ para $m = 1, 2, 3, \dots, n$.

Intensidad de la precipitación en Jaca

Con datos de esta estación se han estudiado las precipitaciones máximas anuales para distintos intervalos de tiempo y periodos de retorno (tabla 1). Estas presentan un progresivo incremento de sus valores a medida que el intervalo de tiempo es mayor, hasta un máximo de 6 horas (35 mm para X_2 y 70 para X_{25}). Si consideramos un intervalo más amplio (12 horas) la intensidad apenas varía y vuelve a ser importante si tomamos como unidad las 24 horas. Se pone así de manifiesto que la máxima intensidad de las precipitaciones se registra en periodos de tiempo inferiores a 6 horas y están separados por intervalos de hasta 12 horas dentro del marco de las 24 horas.

La distribución mensual de la posibilidad de ocurrencia de los valores máximos (tabla 2) muestra que se trata de precipitaciones eminentemente estivales, tanto más cuanto menor es el intervalo de tiempo considerado. Si tomamos unidades de tiempo mayores, especialmente a partir de las 6 horas, adquieren cada vez más importancia las de carácter otoñal.

TABLA 1

Serie de valores máximos anuales en Jaca (1968-1977), para intervalos de:

AÑOS	1/2 hora	1 hora	2 horas	6 horas	12 horas	24 horas
1968	17 –O	22 –S	22 –S	26 –Ag	26 –Ag	27 –Jl
1969	10 –S	10 –S	19 –S	29 –A	35 –A	41 –S
1970	15 –E	23 –N	23 –N	29 –O	35 –O	38 –O
1971	13 –S	22 –Jl	22 –Jl	22 –A	37 –A	59 –A
1972	17 –O	23 –S	47 –Ag	47 –Ag	51 –Ag	55 –Ag
1973	20 –S	24 –J	24 –J	29 –My	31 –N	40 –N
1974	12 –S	17 –Ag	25 –Jl	35 –Jl	35 –Jl	38 –Jl
1975	20 –S	37 –Ag	54 –Ag	54 –Ag	54 –Ag	61 –E
1976	11 –Ag	31 –S	31 –S	39 –My	39 –My	55 –O
1977	12 –J	16 –Jl	30 –O	55 –O	55 –O	65 –J

Media (\bar{X}), desviación (S) y periodos de retorno de 2, 5, 10 y 25 años en Jaca (1968-1977).

\bar{X}	14,79	22,79	29,89	36,70	40,01	48,38
S	3,71	7,61	11,74	11,92	10,19	12,52
X2	14,28	21,75	28,29	35,07	38,62	46,67
X5	18,67	30,76	42,19	49,19	50,68	61,49
X10	21,58	36,73	51,39	58,53	58,67	71,31
X25	25,26	44,26	63,02	70,34	68,77	83,71

TABLA 2

Probabilidad (%) mensuales de lluvias máximas en Jaca (1968-1977).

	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D
Para intervalos de 1/2 hora												
Para X2 (14,28)	10								20	20		
Para X5 (18,76)								10	20			
Para intervalos de 1 hora												
Para X2 (21,75)						10	10	10	30		10	
Para X5 (30,76)								10	10			
Para intervalos de 2 horas												
Para X2 (28,29)								20	10		10	
Para X5 (42,19)								20				
Para intervalos de 6 horas												
Para X2 (35,07)					10			20		10		
Para X5 (49,19)								10		10		
Para intervalos de 12 horas												
Para X2 (38,62)					10			20		10		
Para X5 (50,68)								20		10		
Para intervalos de 24 horas												
Para X2 (46,67)	10			10		10		10		10		
Para X5 (61,49)											10	

RELIEVE Y PRECIPITACIONES MAXIMAS

Intensidades y distribución para el Alto Aragón

Los valores de las precipitaciones máximas anuales en 24 horas son bastante diferentes unos de otros, como cabe esperar para una región amplia y de variado relieve como es el Alto Aragón. Con todo, se pueden reconocer amplias zonas debido a que presentan ciertos rasgos comunes. Tomando como base las cifras obtenidas para distintos periodos de retorno (tabla 3) se observa que las precipitaciones son más intensas en la zona alta pirenaica (Candanchú y Panticosa), a excepción de la parte noroccidental, donde la influencia atlántica es más patente (Isaba). A lo largo de la Depresión Media la intensidad va aumentando de oeste a este (Yessa y Artieda) para finalmente descender de forma gradual a partir de Jaca hasta su extremo oriental (Sabiñánigo). Entre esta depresión y el Pirineo Axil, el gradual aumento del relieve se traduce, a su vez, en un aumento de las intensidades hasta enlazar con los valores propios de la cadena pirenaica. Villanúa, Biesca y El Pueyo de Jaca serían puntos representativos de esta transición. Todo el Prepirineo (Ordaniso, Aineto y San Julián de Banzo) presenta intensidades superiores a las de la depresión media (y muy similares a las del borde meridional de las sierras interiores), a excepción de la parte suroccidental, en donde la menor intensidad es fiel reflejo de la menor altitud que en esta zona presenta el relieve.

Todos estos matices aparecen tanto más claros cuanto mayor es el periodo de retorno calculado para cada zona.

Las probabilidades mensuales de ocurrencia de valores máximos, calculadas para un periodo de 2 años (tabla 4), se han dibujado en el mapa 1. Destaca en primer lugar la importancia de las lluvias máximas durante la estación cálida. Todo el Alto Aragón (hasta los contrafuertes meridionales de las Sierras Interiores) presenta un máximo primario estival, seguido de un máximo secundario primaveral en el Prepirineo y otoñal en la Depresión Media y zonas situadas inmediatamente más al norte. El extremo suroriental aparece caracterizado por un máximo primario otoñal, aunque seguido también de un máximo secundario de primavera común en todo el Prepirineo. En la zona alta pirenaica las intensidades máximas tienen un carácter marcadamente otoñal, pero en ella hay que distinguir los matices que crean los máximos secundarios estivales al oeste del río Aragón y los invernales entre el curso alto del río Gállego y las estribaciones montañosas orientales. Finalmente, la parte noroccidental está afectada por intensidades máximas en invierno (seguidas de las de verano) y que, en definitiva, reflejan

TABLA 3

Número de años, media (\bar{X}), desviación (S) y valores para periodos de retorno de 2, 5, 10 y 25 años

RELIEVE Y PRECIPITACIONES MAXIMAS

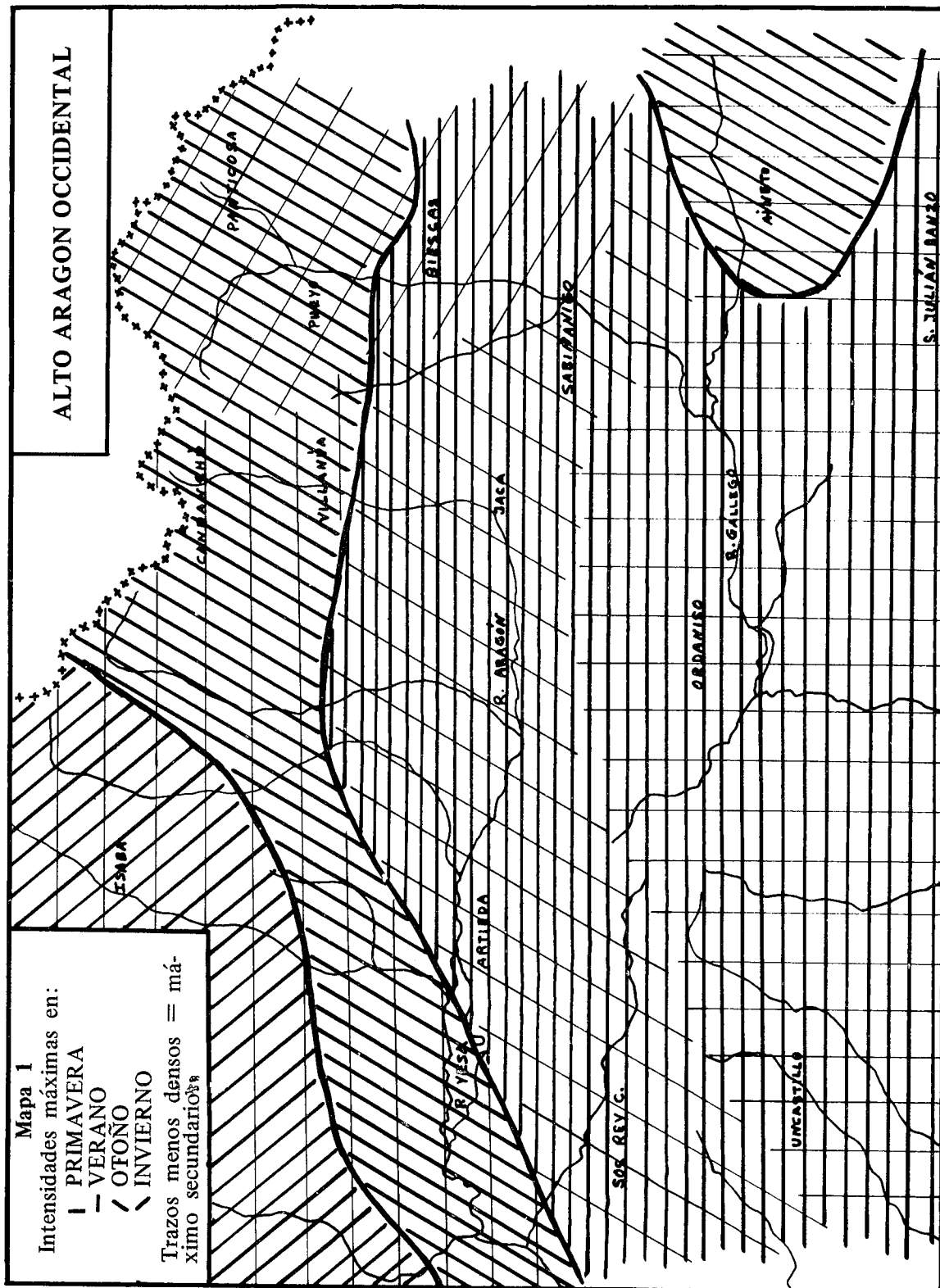
	Nº de AÑOS	\bar{X}	S	X2	X5	X10	X25
Isaba.....	21	46,71	8,41	45,46	54,37	60,27	67,73
Yesa.....	36	47,67	16,05	45,19	61,27	71,92	85,37
Sos del Rey C.....	31	36,06	13,23	34,03	47,47	56,37	67,61
Uncastillo.....	37	40,78	14,40	38,55	52,94	62,47	74,52
Artieda.....	36	51,72	17,47	49,02	66,52	78,11	92,76
Candanchú.....	28	77,00	28,49	72,67	101,90	121,25	145,71
Villanúa.....	34	55,85	15,09	53,52	68,72	78,78	91,50
Ordanisco.....	24	54,96	21,12	51,78	73,82	88,41	106,84
Panticosa (B).....	36	70,00	20,38	66,85	87,27	100,79	117,87
Pueyo de Jaca.....	37	59,38	20,04	56,28	76,31	89,57	106,33
Biesca.....	37	58,81	24,87	54,96	79,82	96,28	117,08
Sabiñánigo.....	36	44,06	14,61	41,80	56,44	66,13	78,38
Aineto.....	26	54,42	16,88	51,87	69,32	80,88	95,48
San Julián B.....	25	53,24	17,32	50,63	68,70	80,52	95,57

TABLA 4

**Probabilidades (%) mensuales de lluvias máximas en 24 horas
para un periodo de retorno de 2 años**

	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D
Isaba.....	4,7	19,0	9,5	4,7	4,7			5,5	14,2			9,5
Yesa.....	2,7				5,5			7,1	11,0	5,5	2,7	13,8
Candanchú.....		3,5			3,5	3,5		7,1	7,1	3,5	7,1	10,7
Panticosa (B).....	2,7	8,3	5,5			2,7	2,7	2,7	8,3		11,0	11,0
Pueyo de Jaca.....	5,4		10,8			5,4		5,4	2,7	2,7	10,8	2,7
Aineto.....	3,8			3,8	7,6	3,8		3,8	3,8	3,8	11,5	7,6
Sos del Rey C.....			3,2		3,2	6,4		9,6	9,6	6,4	6,4	3,2
Artieda.....		2,7			5,5	2,7	2,7	16,6	13,8		2,7	5,5
Villanúa.....	5,8		2,9		2,9	2,9	2,9	11,7	14,7	5,8	5,8	
Biescas.....	8,1	2,7	5,4			5,4		8,1	8,1	5,4	5,4	2,7
Sabiánigo.....			2,7			5,5	2,7	8,3	11,0		8,3	8,3
Ordaniso.....					4,1	12,5	8,3	4,1	8,3	4,1	4,1	
Uncastillo.....			2,7		8,1	2,7	5,4	10,8	13,7	5,4	2,7	
San Julián B.....	4,0	4,0	8,0			4,0		8,0	8,0	4,0	8,0	

RELIEVE Y PRECIPITACIONES MAXIMAS



RELIEVE Y PRECIPITACIONES MAXIMAS

la mayor influencia oceánica y el abrigo que las propias sierras crean para que este tipo de lluvias no alcancen más ampliamente el resto del territorio (Creus, 1977).

Discusión

La distribución de las mayores intensidades y de los máximos estacionales muestran una clara oposición entre las zonas bajas (Somontano y Prepirineo) y los altos relieves (sierras interiores y Pirineo Axil). En el primer caso las lluvias máximas en 24 horas son menos intensas y tienen lugar preferentemente en los meses estivales, además de una notable influencia primaveral; en el segundo caso las cantidades son mayores y se dan principalmente en otoño con un trasfondo estival. Ello crea una relación directa entre altitud y precipitaciones máximas en 24 horas dentro de un claro gradiente suroeste-noroeste, fiel reflejo de la variación altitudinal del relieve.

La duración de las precipitaciones (Jaca) normalmente no superan las 6 horas, o están separadas por intervalos de hasta 12 horas de otra precipitación importante. En el primer caso las intensidades máximas acaecen fundamentalmente durante el verano y presentan cierta tendencia otoñal a medida que se amplía el periodo de tiempo.

Las elevadas intensidades que se registran en todo el Prepirineo (sólo superadas por las de la zona Axil) son un factor decisivo a la hora de explicar la fuerte erosión que afecta a toda esta zona, provocada por la fuerte escorrentía de dichas intensidades y agravada por la ausencia de una cobertura vegetal amortiguadora de este tipo de lluvias.

La distribución espacial y las probabilidades mensuales de ocurrencia de valores máximos en zonas montañosas pone de manifiesto que los puntos afectados por una clara influencia oceánica presentan unos máximos de carácter invernal e inferiores a los de las otras zonas con características más continentales cuyos máximos alcanzan valores mucho más elevados y acontecen principalmente en verano. Intensidades que van retrasándose a otoño a medida que los relieves son más importantes.

RELIEVE Y PRECIPITACIONES MAXIMAS

TABLA 5

Series de valores máximos anuales en 24 horas (1940-1976)

AÑOS	Isaba	Yesa	Sos	Uncastillo	Artieda	Candanchú	Villanúa
1940	45-F			61-Ag			51-F
1941	49-S	33-S	28-Ag	29-Ag	56-S		49-F
1942	52-F	50-S	18-Ag	31-Ag	26-S		83-Ag
1943	52-S	49-S	28-J	35-Jl	55-Ag		70-S
1944	56-F	30-Ag	47-Ag	30-S	58-Ag		30-N
1945	65-M	55-E	34-M	38-Ag	29-Jl		67-M
1946	45-D	39-A	36-My	38-My	50-D		61-E
1947	45-D	40-S	36-S	43-S	64-S		51-N
1948	46-A	26-E	20-Ag	23-E	35-Jl		32-S
1949	52-S	85-S	76-S	67-S	101-S	92-S	58-S
1950	48-My	34-My	31-My	36-My	45-My	54-My	44-N
1951	48-D	30-S	29-Jl	31-Ag	30-Ag	64-N	40-My
1952	46-D	36-F	24-Jl	35-A	47-Jl	73-F	47-Jl
1953	45-J	39-J	59-D	49-O	58-D	51-O	48-A
1954	28-My	24-E	50-N	20-J	55-N	64-J	33-M
1955	48-F	46-O	35-O	27-O	58-Ag	75-D	53-S
1956	48-M	34-Ag	20-Ag	25-S	37-S	73-A	35-S
1957	25-A	35-J	45-J	51-J	97-F	67-J	41-F
1958	45-D	80-D	32-My	59-My	27-M	97-D	48-D
1959	41-M	65-O	60-O	53-S	39-O	99-My	67-S
1960	52-F	67-D	32-O	41-O	43-Ag	90-D	88-J
1961		41-S	22-N	61-S	56-S	60-E	50-S
1962		63-S	30-My	32-O	73-S	68-N	60-O
1963		44-Ag	50-J	90-Ag	91-Ag	99-O	75-Jl
1964		66-D	41-S	52-Jl	47-S	53-S	70-My
1965		39-E	27-O	34-O	47-E	122-S	65-S
1966		62-N	25-Ag	40-N	52-Ag	140-N	70-N
1967		64-D	38-Ag	38-Jl	44-N	27-S	87-O
1968		33-N	40-N	36-N	50-Jl	55-D	42-D
1969		45-D	25-M	46-S	60-J	69-N	56-A
1970		44-E	33-A	27-E	40-O	134-N	54-E
1971		56-A	47-A	42-A	60-A	69-J	65-A
1972		80-Ag		56-My	50-My	66-D	54-Ag
1973		30-D		26-N	41-N	118-Ag	55-N
1974		63-My		44-M	40-M	99-J	
1975		45-My		30-My	41-Ag	40-Ag	
1976		44-Jl		33-Jl	60-My	38-Ag	

TABLA 6

Series de valores máximos anuales en 24 horas (1960-1976)

AÑOS	Ordaniso	Panticosa	Pueyo	Biescas	Sabiñánigo	Aineto	S. Julián B.
1940	27-N		54-O	51-N			
1941	46-JI	52-F	53-Ag	46-S	47-S		
1942	79-Ag	149-Ag	155-Ag	140-Ag	65-Ag		
1943	54-JI	57-F	45-S	57-N	26-Ag		
1944	24-My	55-Ag	46-Ag	37-Ag	36-Ag		
1945	48-JI	44-S	84-M	48-E	52-M		
1946	32-A	44-A	53-A	45-D	37-D		
1947	36-My	55-F	72-M	49-M	36-My		
1948	36-E	68-S	53-D	72-E	27-E	31-A	
1949	78-S	77-S	56-S	46-S	36-JI	38-S	58-S
1950	40-My	68-F	59-N	42-D	33-My	42-D	43-D
1951	42-My	73-D	62-E	57-F	39-D	46-J	37-JI
1952	77-JI	93-F	76-M	46-M	55-JI	80-A	51-A
1953	78-J	52-Ag	36-O	28-O	27-J	58-D	49-D
1954	40-S	80-D	38-N	32-S	36-My	48-S	63-M
1955	56-J	64-E	66-J	78-S	48-J	33-S	40-O
1956	98-My	54-Ag	48-Ag	25-S	28-S	50-S	87-J
1957	34-J	39-F	44-F	26-J	30-M	34-A	50-Ag
1958	45-My	59-S	50-S	69-D	40-My	33-M	33-Ag
1959	78-S	86-M	53-A	119-M	49-S	75-D	80-S
1960	74-J	87-D	85-O	56-O	65-J	67-J	40-O
1961	84-N	66-S	61-N	71-S	60-N	54-N	88-N
1962	68-O	55-M	61-E	56-M	39-O	67-E	81-M
1963	45-J	89-D	74-D	57-E	46-D	43-D	42-E
1964		60-F	55-N	63-J	85-S	62-N	73-N
1965		89-N	46-N	117-S	85-D	96-O	62-E
1966		91-N	48-O	68-O	48-N	78-N	53-O
1967		67-N	63-M	47-M	36-N	62 My	47 M
1968		94-N	58-N	49-D	30-Ag	41-D	32-S
1969		55-D	52-S	62-A	49-S	39-J	63-F
1970		69-JI	54-E	79-E	38-A	67-My	37 My
1971		75-F	73-Ag	61-A	54-A	62-A	31-A
1972		65-D	37-D	48-N	41-D	62-S	42-J
1973		58-N	55-E	43-S	34-J	47-My	49-J
1974		93-J	65-J	83-J	51-Ag		
1975		72,E	48-N	37-N	28-Ag		
1976		66-M	59-N	66-N	50-N		

JOSE CREUS N. – JUAN PUIGDEFABREGAS T.

Bibliografía

- Chow, V.T.**, 1954: “The log-probability law and its engineering applications”. *American Society of Civil Engineers, Proceedings*, Separate número 536, vol. 80.
- Creus, J.**, 1977: *El clima del Alto Aragón occidental* (Tesis Doctoral inédita, Universidad de Navarra), Jaca, 421 pp.
- Elías, F.**, 1963: “Precipitaciones máximas en España, régimen de intensidades y frecuencias”. *Ministerio de Agricultura. Servicio de Conservaciones de Suelos. Boletín técnico número 3*. Madrid.
- Gumbel, E.J.**, 1962: “Statistical theory of extreme values”. *Rev. Belge de Statistique et de Recherche Operationnelle*, 3 (2): 3 - 11.
- Sneyers, R.**, 1960: “Le hasard en météorologie”. *Institut Royal Météorologique de Belgique, Contributions* número 63: Uccle-Bruxelles.

