

PLUVIOMETRIAS ANUALES Y MENSUALES EN LOS MUNICIPIOS DE CASTELLÓN, ALMASSORA Y BENICÀSSIM, EXTREMOS Y SU EVOLUCION CON EL TIEMPO

Fernando Ginés Llorens

Resumen

En el presente trabajo se han analizado, mediante tratamiento estadístico, las precipitaciones anuales y mensuales que se registran en las localidades de Castellón, Almassora y Benicàssim, determinándose sus valores medios, su variabilidad interanual y los valores extremos esperables para diferentes periodos de retorno. Así mismo se ha estudiado la posible evolución de las precipitaciones con el tiempo. Las precipitaciones anuales se caracterizan por su escasez y gran irregularidad. Dentro de dicha variabilidad, se observa una alternancia de periodos secos y húmedos y un incremento de los promedios desde principios del siglo XX. Respecto al régimen estacional, éste es típicamente mediterráneo, con máximos otoñales y mínimos acusados en verano. Las precipitaciones mensuales, al igual de lo que ocurre con las anuales, presentan una gran variabilidad interanual, advirtiéndose una evolución en el tiempo, no tan solo en su valor absoluto sino también en el relativo, El aumento pluviométrico observado se ha concentrado claramente en el segundo semestre del año. El estudio, además, nos muestra el papel que juega el relieve en las precipitaciones, siendo éstas más abundantes cuanto más próximos nos encontremos a las sierras bien expuestas a los vientos de levante.

1. Introducción

Una de las características más destacables de la precipitación anual en la provincia de Castellón es su escasez, especialmente, en la zona costera. En general, las lluvias son inferiores a las del resto de regiones mediterráneas de similar latitud debido a que se encuentra a sotavento del flujo zonal del oeste que es el más frecuente en las latitudes medias. La precipitación anual media se sitúa entre los 400 y 600 mm en prácticamente todas las comarcas castellonenses y tan solo se localizan núcleos de 600 mm o más, con máximos superiores a los 800 mm, en las sierras alineadas en dirección NE-SW del interior (Pérez Cueva, 1995).

Otro de los rasgos más característicos de la precipitación anual es su gran irregularidad; tras un año en el que se supere ampliamente la media puede sucederle otro en el que no se alcance ni tan siquiera el 50% del promedio. Así, la cantidad total recogida durante los años más húmedos puede quintuplicar a la de los más secos.

El régimen estacional es típicamente mediterráneo con máximos otoñales y mínimos acusados en verano. Sin embargo, al igual que ocurría con la evolución anual, dicho régimen puede variar en gran medida de año en año. Algunos años puede precipitar en un mes prácticamente lo mismo que se recoge en un año normal mientras que otros años, ese mismo mes, no se registra un solo mililitro.

La escasez de precipitaciones no sería tan crítica si éstas estuvieran bien repartidas a lo largo del año y no hubiera tanta irregularidad interanual. Esta estacionalidad y variabilidad afecta a la humedad del terreno y al abastecimiento del agua por lo que

ejerce un fuerte impacto sobre los diversos sectores socio-económicos, como son el agrícola y el turístico, además de favorecer desastres naturales tan comunes en las regiones mediterráneas como son los incendios forestales (Ginés, 1995).

En el presente trabajo se han analizado, mediante tratamiento estadístico, las precipitaciones anuales y mensuales que se registran en las localidades de Castellón, Almassora y Benicàssim, determinándose sus valores medios, su variabilidad interanual y los valores extremos esperables para diferentes periodos de retorno. Así mismo, se ha estudiado la posible evolución de las precipitaciones con el tiempo.

Para realizar el estudio se han empleado los datos oficiales de precipitación registrados en la capital de la Plana desde 1912, primero en la estación ubicada en el instituto de enseñanza secundaria Francisco Ribalta (observatorio IFR), hasta 1975, y, posteriormente, en la estación situada en el término municipal de Almassora (observatorio ALM).

Con el objeto de determinar el efecto que tiene el emplazamiento del observatorio sobre las precipitaciones, en el estudio también se han incluido los datos de precipitación registrados por el autor durante el periodo 1981-2010, en otros dos pluviómetros; el primero ubicado en la ciudad de Castellón (observatorio CS) y el segundo en el término de Benicàssim (observatorio BC), en la urbanización de la Parreta. En la figura 1 se muestra el emplazamiento de todas las estaciones consideradas en el estudio.



Figura 1. Localización de los observatorios considerados en el estudio.

2. Precipitaciones anuales

2.1 Precipitaciones medias

Como ya se ha indicado en la introducción, uno de los rasgos más destacables de la precipitación anual en los municipios de Castellón, Almassora y Benicàssim es su escasez. En la tabla 1 se resumen los parámetros estadísticos de los cuatros observatorios analizados, comprobándose que, en ninguno de ellos, la media anual supera los 550 mm.

Tabla 1. Parámetros estadísticos de las precipitaciones registradas en los cuatros observatorios en estudio.

Estación	Años	Media (mm)	Desv. Std (mm)	Máximo (mm)	Mínimo (mm)	Recorrido (mm)	Coef. (%)
IFR	1912-1975	428,8	152,6	933,2	201,5	731,7	36
ALM	1976-2010	459,9	153,7	1.024,90	220,0	804,9	33
CS	1981-2010	481,8	189,0	1.212,40	212,3	1.000,1	39
BC	1981-2010	533,9	188,2	1.179,30	255,3	924,0	35

En la tabla también se puede advertir el efecto que tiene la orografía sobre las precipitaciones medias. Así, el pluviómetro instalado en Benicàssim, muy próximo a la sierra del Desierto de las Palmas, es el que registra la mayor precipitación media, entre el 10 y el 25% más que el resto de las estaciones. La orientación NE-SW de esta sierra y sus más de 700 metros de altura, a escasos kilómetros del mar, suponen una gran barrera que frena los vientos húmedos de levante y favorece, por tanto, las lluvias.

Por el contrario, las diferencias entre las estaciones IFR y CS no pueden explicarse ni por la orografía ni por su localización ya que, entre ambas, apenas existen 200 m de separación, por lo que deben ser consecuencia de una evolución de las precipitaciones medias con el tiempo. Dicha evolución se analizará en el apartado 2.3 del presente estudio.

Debido a esta posible evolución y para que la comparativa entre observatorios sea lo más rigurosa posible, es conveniente cotejar los registros para el mismo periodo de tiempo. Como se muestra en la tabla 2, si consideramos el periodo 1981-2010, las diferencias pluviométricas entre los observatorios de Castellón, CS, y Almassora, ALM, se reducen pero siguen siendo favorables a este primero, unos 3-4 km más cercano a la sierra litoral que el observatorio ALM.

Tabla 2. Precipitación media registrada en los observatorios ALM, CS y BC durante el periodo 1981-2010.

Estación	Años	Media (mm)	Desv. Std (mm)
ALM	1981-2010	467,3	151,1
CS	1981-2010	481,8	189,0
BC	1981-2010	533,9	188,2



Figura 2. El Desierto de las Palmas. Su más de 740 m a escasos kilómetros de la costa suponen una barrera destacable a los vientos de levante.

2.2 Variabilidad pluviométrica interanual

Otro de los rasgos que caracteriza el clima mediterráneo es la gran variabilidad interanual de las precipitaciones, variabilidad que se puede evaluar con los parámetros estadísticos rango o recorrido (diferencia entre el año más húmedo y el más seco) y el coeficiente de variación (Coef.= Desv. Std/Media). En la tabla 1 se muestran los valores de estos parámetros para las cuatro estaciones analizadas, comprobándose que el recorrido puede llegar a alcanzar los 1.000 mm y el coeficiente de variación el 39%. Este último dato está muy próximo al observado en el sureste español, donde se registra la mayor irregularidad peninsular, y nos confirma una variabilidad interanual elevada.

En vista de esta gran irregularidad y con el objeto de conocer mejor el comportamiento de la pluviometría anual, resulta fundamental identificar una distribución de probabilidad que se ajuste de forma adecuada a las observaciones. Así mismo, es aconsejable disponer de la mayor secuencia de datos posible. Por lo tanto, dado que las diferencias pluviométricas entre el centro de la capital (IFR ó CS) y la estación ALM son de apenas el 3%, a partir de los registros de los observatorio IFR y ALM se ha construido una nueva serie de datos, a la que hemos denominado IFR/ALM y cuyos parámetros estadísticos se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Parámetros estadísticos de la serie pluviométrica IFR/ALM.

Estación	Años	Media (mm)	Desv. Std (mm)	Máximo (mm)	Mínimo (mm)	Recorrido (mm)	Coef. (%)
IFR/ALM	1912-2010	439,0	152,7	1024,9	201,5	823,4	35

Representando los datos en un histograma podemos identificar la distribución teórica más adecuada. Para construir el histograma, los datos de la serie IFR/ALM se han ordenado en clases de 100 mm de intervalo, determinándose su frecuencia absoluta. Los resultados obtenidos se muestran en la figura 3, pudiéndose extraer las siguientes conclusiones:

- El 67% de las observaciones anuales se sitúan entre los 300 y 600 mm, mientras que un 19% se sitúa por debajo de estos valores y un 14% por encima. La distribución, por tanto, es asimétrica y sesgada hacia la izquierda. El motivo de esta asimetría probablemente se deba a la existencia de un límite físico relativamente cercano a los valores medidos: la precipitación nula.
- Las mayores frecuencias no se dan alrededor de la pluviometría media (clase 400-500), con un 18% de las observaciones, sino a valores inmediatamente superiores (clase 500-600 mm), con un 21% y, especialmente, a valores inmediatamente inferiores (clase 300-400 mm), con un 28%. Este hecho podría explicarse por la presencia de dos poblaciones mezcladas, una correspondería a los años lluviosos, con un promedio de 550 mm, y otra a los años secos, con un promedio de 350 mm.

De acuerdo con lo comentado, las observaciones no se distribuyen de una forma normal o gaussiana, en forma de campana, sino que su distribución es ligeramente bimodal y asimétrica. En estos casos la mediana y la moda pueden resultar más adecuadas para describir la tendencia central de la distribución de los datos que la media (tabla 4).

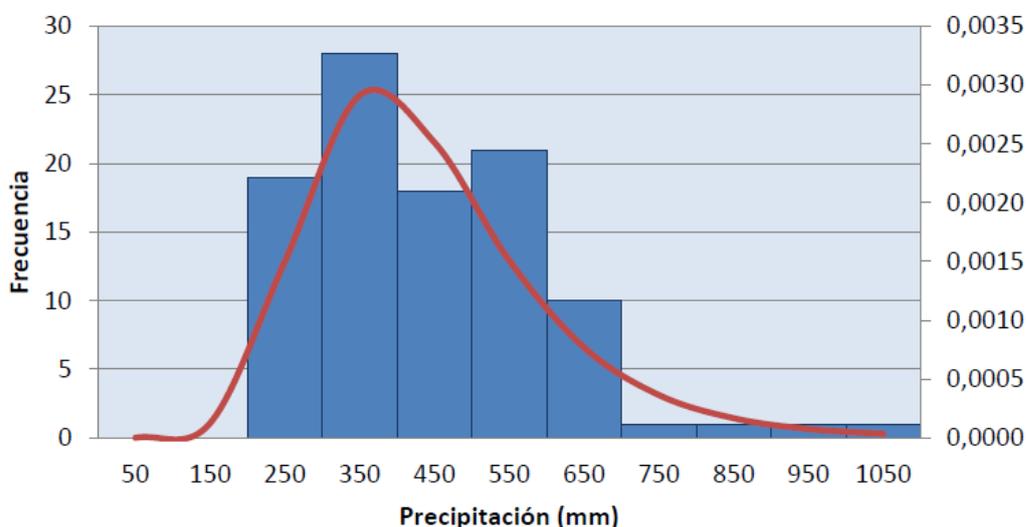


Figura 3. Histograma de frecuencias de la serie IFR/ALM. En rojo la densidad de probabilidad de Gumbel.

Tabla 4. Parámetros estadísticos de la serie pluviométrica IFR/ALM.

Estación	Años	Media (mm)	Mediana (mm)	Moda (mm)
IFR/ALM	1912-2010	439,0	418,4	370,3

Aunque es posible ajustar los datos de la serie IFR/ALM a una distribución normal, las conclusiones obtenidas no serían muy útiles. Otro tipo de distribuciones, como la gamma o la de Gumbel suelen funcionar mejor a los datos climatológicos. En la figura 4

se muestra el ajuste de los datos a una distribución de Gumbel¹, mientras que en las figuras 3 y 5 (en rojo) se han representado las correspondientes a la densidad de probabilidad y distribución acumulativa, comprobándose la bondad del ajuste ($r^2=0,9791$).

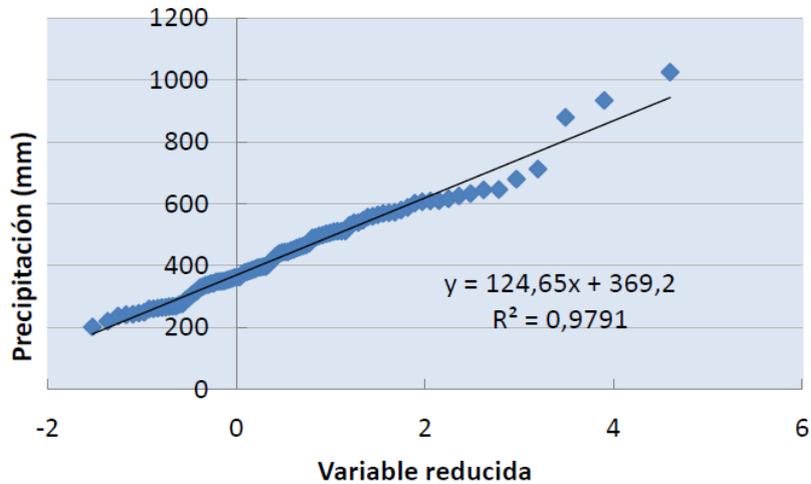


Figura 4. Diagrama de probabilidad de Gumbel para la serie IFR/ALM.

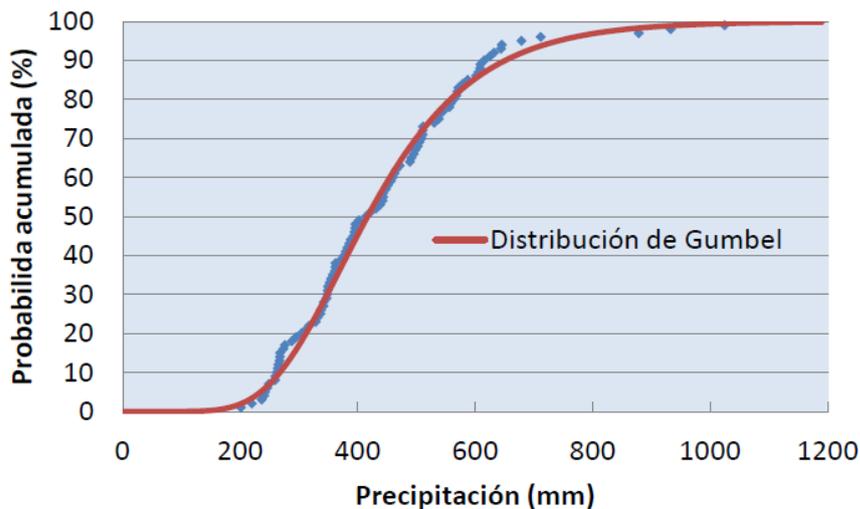


Figura 5. Distribución acumulativa de Gumbel para la serie IFR/ALM.

La identificación de una distribución que se ajuste de forma adecuada a las observaciones, en este caso la de Gumbel, nos permite efectuar un análisis más detallado de la pluviometría anual. En efecto, podemos determinar las cantidades máximas o mínimas que se pueden esperar para diferentes periodos de recurrencia (tabla 5), la probabilidad de aparición de un determinado registro, la frecuencia con la que se dan años muy secos (<300 mm) o húmedos (>600 mm), etc. Así, por ejemplo, el valor

¹ La variable reducida que aparece en la figura 4 es igual a $-\ln \ln (100/P)$, donde P es la probabilidad o frecuencia empírica, cuyos valores se calculan mediante la expresión $P = 100 i/(N+1)$, siendo i el orden de cada elemento en una serie ordenada en un sentido creciente y N el número de elementos que en nuestro caso es treinta (Ministerio de Medio Ambiente, 1998).

máximo de la secuencia IRF/ALM, 1.024,9 mm, registrado en 1989², presenta un periodo de retorno de prácticamente dos siglos, mientras que el valor mínimo, 201 mm, ocurrido en 1952, es esperable cada 46 años. Las precipitaciones anuales iguales o inferiores a 300 mm tienen un periodo de recurrencia de tan solo cinco o seis años, lo que nos demuestra lo frecuentes que son los períodos áridos en la costa castellonense. Por otro lado, los años en los que las precipitaciones pueden ser relativamente abundantes, >600 mm, presentan un periodo de retorno de siete años.

Tabla 5. Valores extremos de las precipitaciones anuales para diferentes periodos de retorno.

Periodo retorno (años)	Precipitación Máxima (mm)	Precipitación Mínima (mm)
5	556,2	309,9
10	649,7	265,2
20	739,4	232,4
30	791,1	216,6
100	942,6	178,8
250	1057,2	156,2
500	1143,7	141,5

Para realizar estos cálculos se ha supuesto que la frecuencia con la que se produce una precipitación anual máxima o mínima será en el futuro igual a la que lo fue en el pasado. Este hecho implica dos cosas, que la serie disponible es una muestra homogénea y representativa de una población determinada y que durante los años que abarca la misma no se ha producido una variación climática. Sin embargo, los datos de la serie se han tomado en dos estaciones diferentes, observándose ligeras diferencias entre los registros. Además, como indicamos en el apartado anterior, los valores normales de las precipitaciones anuales posiblemente han evolucionado desde el inicio de las observaciones, a comienzos del siglo XX. En consecuencia, las series de los observatorios ALM, CS y BC, aunque más cortas, pueden resultar más adecuadas para estimar precipitaciones máximas futuras. En la tabla 6 se muestran los resultados obtenidos. Se puede comprobar que, a igual periodo de recurrencia, la precipitación máxima esperable en el observatorio ALM es siempre inferior a la de las otras dos estaciones, lo cual se debe, como ya comentamos, al efecto que tiene la orografía sobre las precipitaciones. Por otro lado, si se comparan los resultados de la serie ALM con los de la serie IFR/ALM, las precipitaciones máximas, para un periodo de retorno determinado, son siempre mayores en esta primera estación. Este hecho, lógicamente, tiene que deberse a la evolución de la pluviometría con el tiempo, tema que trataremos en el próximo apartado.

² En la ciudad de Castellón durante el año 1989 se recogieron 1.212,4 mm (CS) y en Benicàssim 1.179,3 mm (BC). A finales de ese año y principios de 1990 por el cauce del llamado río Seco, a su paso por la capital de la Plana, discurrió agua durante más de un mes. Normalmente, este hecho se produce cuando se registran lluvias y muy intensas, cesando el flujo al poco tiempo de acabar la precipitación. Este dato no indica lo extraordinaria que fue la pluviometría de aquel año ya que no ha vuelto a suceder ni se tienen noticias de que ocurriera anteriormente.

Tabla 6. Valores extremos de las precipitaciones anuales para diferentes periodos de retorno.

Periodo retorno (años)	ALM (mm)	CS (mm)	BC (mm)
10	689,1	749,9	809,4
20	782,3	862,4	925,1
30	835,9	927,2	991,6
100	993,2	1117,3	1187,0
250	1112,2	1261,1	1334,7
500	1202,1	1369,7	1446,2

2.3. Evolución de las precipitaciones

Como ya hemos comentado, las diferencias existentes entre los valores medios de los observatorios CS y IFR nos indican una posible evolución de las precipitaciones medias con el tiempo. Para determinar dicha evolución es necesaria una larga serie de datos que elimine posibles fluctuaciones periódicas de las lluvias, por lo que nuevamente se ha utilizado para el análisis la serie IRF/ALM. La serie se ha subdividido en periodos de 25 años, calculándose la precipitación media anual para cada uno de ellos.

En la tabla 7 se muestran los resultados obtenidos, donde se han añadido también los correspondientes a la ciudad de Valencia desde el siglo XIX. Puede comprobarse que, en Castellón, los dos primeros periodos, desde 1912 hasta 1960, fueron los más áridos, aumentando posteriormente las precipitaciones medias hasta alcanzar, en el último periodo, 481 mm, es decir, unos 70 mm más que en el segundo periodo, que fue el más seco. No es de extrañar, por tanto, que la escuela de Lautensach (Wrobel, Kunow y Neumann), cuando estudió el clima de Castellón (años 1906-1925) y Valencia (años 1908-1927), registrara unas precipitaciones medias sensiblemente inferiores a las actuales (Castellón 391 mm y Valencia 406 mm) (López Gómez, 1977).

Tabla 7. Variación de la pluviometría media.

Periodo	Castellón		Benicàssim	Valencia
	IFR/ALM	CS	BC	
1861-1885	-	-	-	481,0
1886-1910	-	-	-	486,5
1911-1935	419,7	-	-	410,9
1936-1960	413,7	-	-	436,0
1961-1985	440,9	-	-	440,6
1986-2010	480,8	496,4	537,0	491,1

Con el objeto de visualizar mejor esta evolución, en el diagrama de barras de la figura 6 se han representado los datos mostrados en la tabla 7. Puede advertirse que las precipitaciones medias recogidas en ambas capitales, desde principios del siglo XX, así como su evolución en el tiempo han sido muy similares. Así pues, parece lógico pensar que la evolución de las precipitaciones haya ido también paralela en el pasado y, por tanto, los niveles de precipitación a finales del siglo XIX debieron ser en Castellón superiores a los de la primera parte del siglo XX y muy parecidos a los actuales, No obstante, las razones que explicarían el aumento pluviométrico actual deben ser

diferentes a las que favorecieron las lluvias en el pasado, especialmente, entre los años 1880 y 1898. En efecto, durante aquellos años se produjo un enfriamiento que debió originar un descenso latitudinal de la circulación frontológica o zonal (Quereda, 1982). Por el contrario, el aumento observado desde los años sesenta ha coincidido con un aumento generalizado de las temperaturas, más patente a partir de la segunda mitad de los años setenta. En este caso, el incremento de las precipitaciones tendría que ser consecuencia de la intensificación de la circulación meridiana y no zonal (Quereda, 1994) y, por tanto, de la actividad convectiva, lo cual explicaría la mayor irregularidad del régimen pluviométrico actual, en el que se alternan periodos relativamente húmedos con otros extremadamente secos.

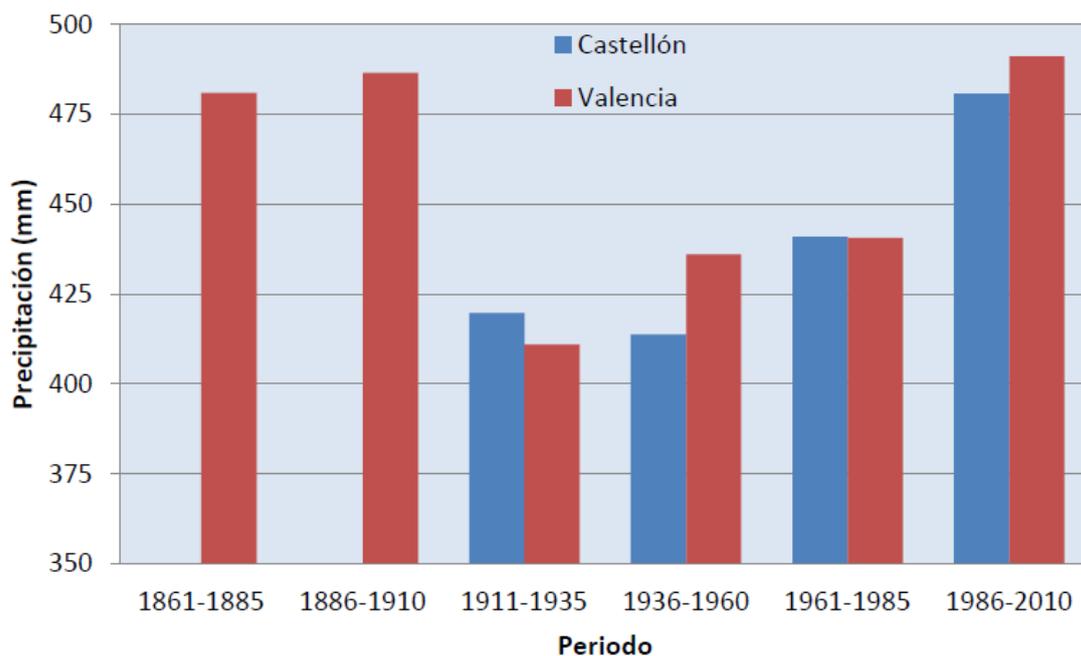


Figura 6. Variación de la pluviometría media en Castellón y Valencia con el tiempo.

De acuerdo con lo comentado hasta el momento y como puede observarse en la figura 7, las precipitaciones anuales han experimentado un aumento desde el comienzo de las mediciones en 1912 que, en promedio, se ha situado en 0,76 mm/año. Este incremento, probablemente, sea algo mayor ya que las precipitaciones registradas en el observatorio de Almassora son ligeramente inferiores a las que se recogen en la ciudad de Castellón.

Más allá de este aumento, la gran irregularidad interanual, ya comentada y que se visualiza en la figura 7 en forma de dientes de sierra, impide apreciar la existencia de alguna cadencia en las precipitaciones. El descubrimiento de algún tipo de pauta sería de gran utilidad ya que nos permitiría hacer pronósticos sobre el comportamiento de las precipitaciones. Autores como Quereda Sala (1982) han intentado relacionar la cuantía de las precipitaciones anuales con los ciclos undecenales de actividad solar. En la figura 8 se ha aplicado un filtro, similar al propuesto por el citado autor, a la serie de valores IFF/ALM, apreciándose una secuencia bastante nítida en la evolución de la pluviometría anual en la que se alternan periodos secos con otros más húmedos.

Con el objeto de determinar si existe alguna relación entre las precipitaciones y los ciclos solares, en la tabla 8 se muestran los años en los que se produjeron los máximos de actividad solar y los máximos pluviométricos. Puede comprobarse que hubo

coincidencia, con un desfase máximo de dos años, en cuatro de los nueve máximos solares acaecidos entre 1912-2010, mientras que en cinco de ellos el desfase fue demasiado grande, tres o más años, o ni tan siquiera se produjo un máximo pluviométrico. Una coincidencia de más del 40% no puede ser mera casualidad, lo que nos confirmaría la importancia que tiene la actividad solar sobre la pluviometría anual. Sin embargo, otros factores, además de la actividad solar, deben influir sobre la precipitación, por lo que, la falta de una relación unívoca impide hacer pronósticos fiables sobre la evolución de las precipitaciones. Lo que sí resulta evidente, por lo menos desde hace un siglo, es que a un periodo seco siempre le sigue otro más húmedo y viceversa, durando el ciclo completo entre diez y dieciocho años, con un promedio de catorce años por ciclo. Este hecho no excluye que dentro de un periodo seco haya un año con gran pluviometría, como ocurrió en 1982, o que, por el contrario, dentro de un periodo húmedo haya un año extremadamente seco, como ocurrió en 1970. Esta alternancia explicaría la ligera distribución bimodal que presentan las observaciones anuales y que ya hemos comentado en el apartado anterior.

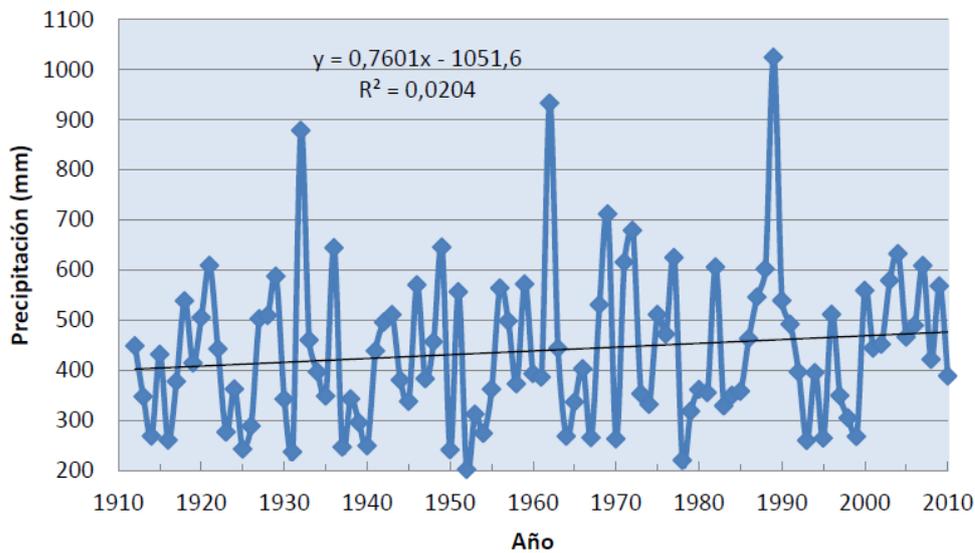


Figura 7. Variación de las precipitaciones anuales en Castellón.

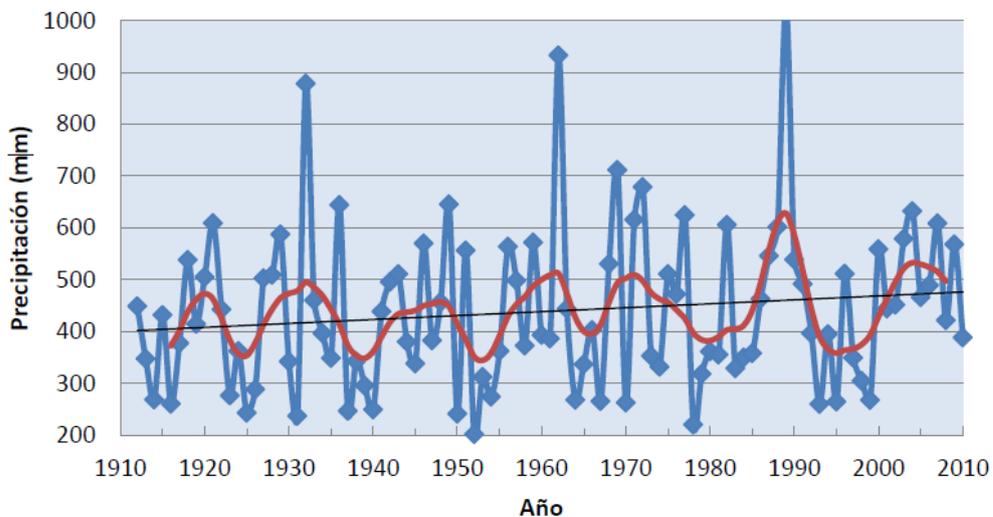


Figura 8. Variación de las precipitaciones anuales en Castellón y su evolución cíclica.

Tabla 8. Años en los que se produjeron los máximos solares y pluviométricos y el desfase entre ambos.

Máximo solar (año)	Max. Pluviométrico (año)	Desfase (años)
1918	1920	2
1928	1932	5
1938	No hay	-
1948	1948	0
1958	1962	4
1969	1971	2
1981	No hay	-
1991	1989	-2
2001	2004	3

La aplicación de un filtro a los valores pluviométricos anuales también nos permite visualizar mejor la intensidad y duración de los periodos secos y húmedos. Así, puede observarse que el periodo lluvioso más destacable de la serie ocurrió a finales de los años ochenta y principios de los noventa y culminó, como ya hemos comentado, en el año 1989 con una precipitación máxima de 1.024,9 mm. La pluviometría media durante aquellos años (lustro 1987-1991) alcanzó en la capital de la Plana los 640,5 mm, casi 100 mm más que en los siguientes tres lustros más húmedos de la serie³.

Respecto a los periodos secos, las sequías con los mínimos más acusados fueron las acaecidas a mitad de los años veinte, a finales de los años treinta y durante el primer lustro de los años cincuenta. En este último periodo destaca por su aridez el año 1952, con una precipitación mínima de 201,5 mm. Sin embargo, aunque no presenten mínimos tan acusados, se deben destacar, debido a su duración, unos ocho años, las dos sequías padecidas en el último cuarto del siglo XX: la primera desde finales de los años setenta hasta mitad de los años ochenta y la segunda durante la casi totalidad de la década de los años noventa y, entre ellas, la última ya que se acumuló el mayor déficit hídrico del siglo XX (figura 9). Su intensidad fue de tal magnitud que un climatólogo de tanto prestigio como Inocencia Font Tullot la calificó como la peor sequía en mil años (Font Tullot, 2003).

³ Los siguientes lustros más húmedos de la serie fueron 1968-1972, con una precipitación media de 559,9 mm, 2003-2007, con 555,0 mm y 1959-1963, con 545,6 mm.

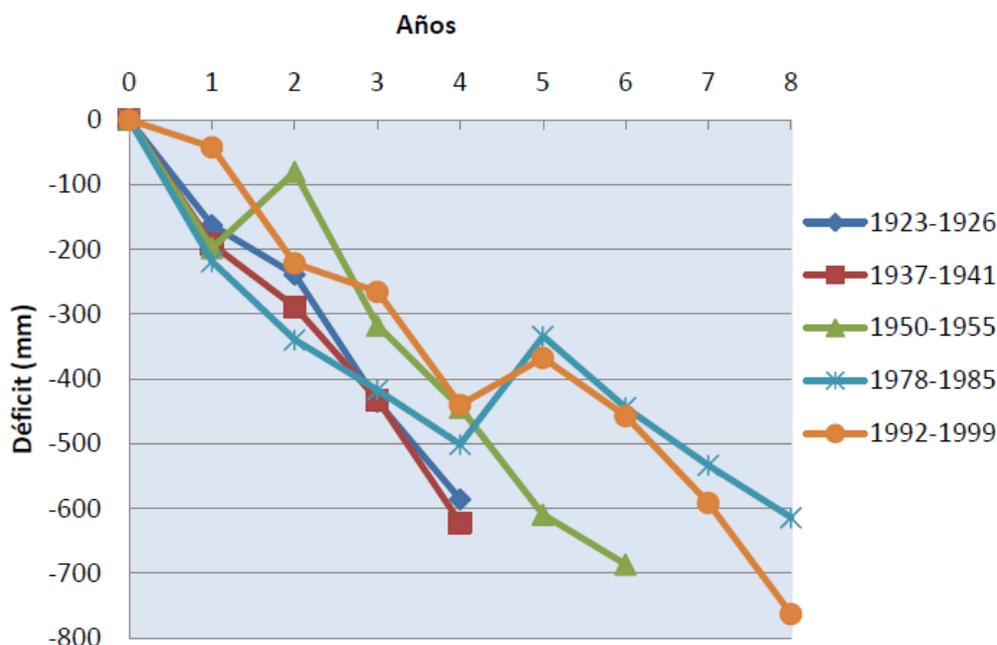


Figura 9. Déficit pluviométrico en las sequías más severas del siglo XX (observatorios IRF y ALM).

3. Precipitaciones mensuales

3.1 Precipitaciones medias y su régimen estacional

Como se ha comentado en la introducción, el régimen estacional en las comarcas castellanense es típicamente mediterráneo, con máximos otoñales y mínimos estivales acusados. En la tabla 9 se muestran los valores promedio, registrados en el periodo 1981-2010, en los observatorios ALM, CS y BC, mientras que en la figura 10 se representan los citados datos. En todos los observatorios se confirma el máximo otoñal y el mínimo estival. Así mismo, se observa un máximo y mínimo secundarios en primavera e invierno, respectivamente. Si comparamos los datos de los tres observatorios se puede señalar lo siguiente:

- En general, las medias mensuales registradas en los observatorios CS y AL son muy parecidas, con diferencias máximas de unos 2 mm. Tan solo se observan diferencias apreciables, superiores a los 5 mm, y siempre favorables al observatorio de Castellón, los meses de abril, octubre, noviembre y diciembre.
- Las medias del observatorio de Benicàssim son siempre superiores a los de los dos anteriores, con la única excepción del mes de marzo. Estas diferencias pueden alcanzar algunos meses los 12 mm.

Tabla 9. Precipitaciones medias en los observatorios ALM, CS y BC. Periodo 1981-2010.

Estación	E	F	M	A	M	J	JL	AG	S	O	N	D
ALM	35,7	31,0	30,8	41,6	43,9	19,4	8,6	24,1	71,2	69,9	48,8	42,2
CS	35,7	32,1	28,7	46,7	42,6	18,1	8,7	22,0	70,4	76,0	54,4	46,3
BC	42,4	34,6	30,5	53,9	46,3	21,4	13,5	26,9	75,2	82,3	57,1	49,8

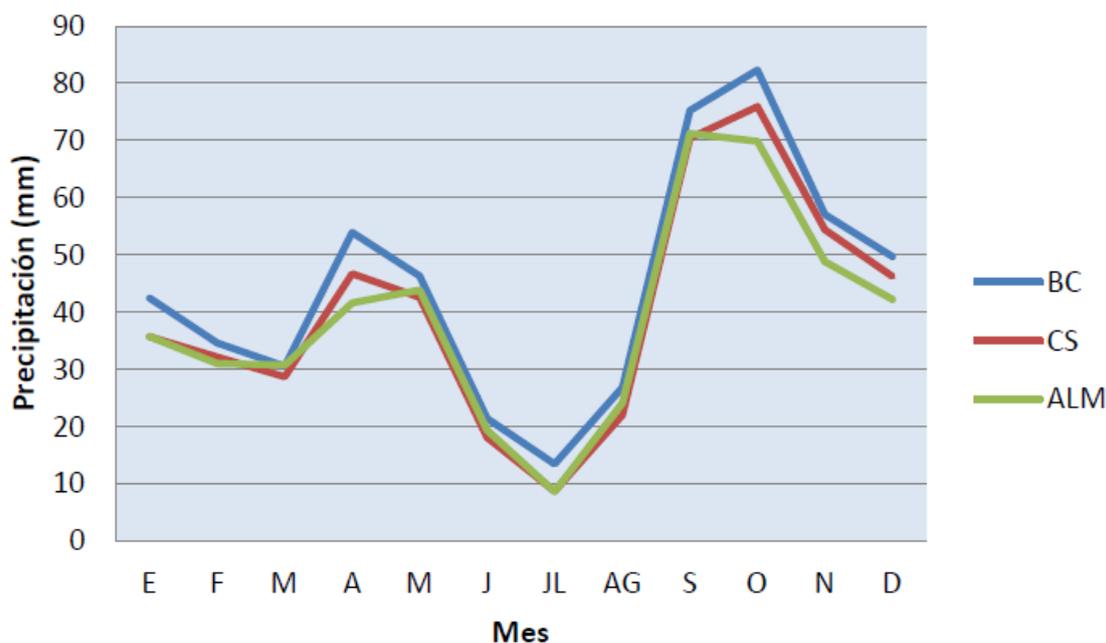


Figura 10. Variación de la precipitación media en los observatorios ALM, CS y BC.

Los registros diarios de los tres pluviómetros nos indican que las precipitaciones, sobre todo las medidas en la capital y Almassora, no presentan habitualmente grandes diferencias, siendo tan solo apreciables cuando sobreviene un gran temporal de levante. Así pues, son las grandes ciclogénesis las principales causantes de las diferencias en los promedios mensuales y, por tanto, en los anuales. Durante estas situaciones y debido a la proximidad al Desierto de las Palmas y a las sierras litorales, las precipitaciones en Benicàssim suelen ser más copiosas que en la ciudad de Castellón y en esta última que en Almassora, pudiendo acumularse diferencias de casi 100 mm en casos extremos (véase la tabla 10).

Tabla 10. Precipitaciones registradas durante algunos de los temporales de levante más intensos del periodo 1981-2010.

Fecha	ALM	CS	BC
21-22/08/1981	50,7	55,0	139,0
13-19/04/1982	109,0	176,0	206,0
8-10/10/1994	153,9	244,0	153,0
22-25/10/2000	285,4	320,0	380,0
27-29/09/2009	274,7	303,0	346,0

3.2. Variabilidad pluviométrica interanual

Al igual de lo que ocurría con los valores anuales, los valores mensuales presentan una acusada variación interanual. En el histograma de la figura 11, donde se representa la frecuencia absoluta de los valores registrados en el observatorio BC durante los meses de abril (organizados en clases de 20 mm) se puede visualizar mejor la citada irregularidad. En efecto, puede comprobarse que las observaciones no se ajustan a una distribución gaussiana y que ni tan siquiera los valores más frecuentes son los situados alrededor del promedio mensual (53,9 mm). Las observaciones inferiores a los 20 mm son las que se dan con mayor frecuencia, representando más de la tercera parte del total;

las superiores a los 80 mm suponen un 20%, mientras que la clase que incluye el promedio mensual (40-60 mm) apenas contiene el 13% de todas las observaciones.

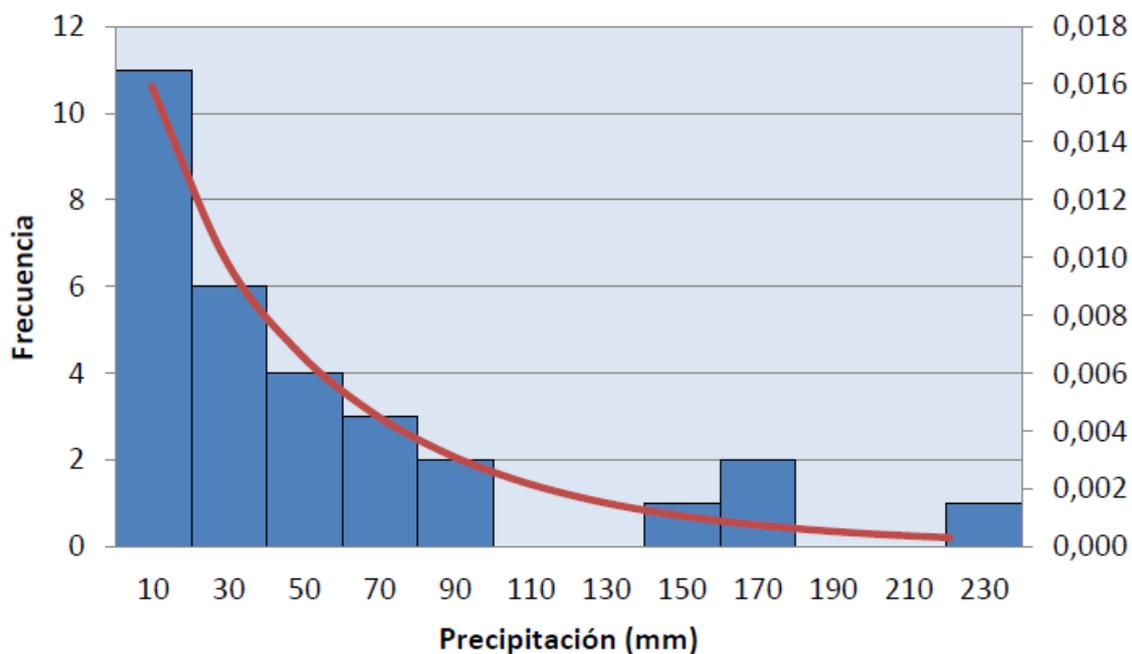


Figura 11. Histograma de la frecuencia de los registros del mes de abril en el observatorio BC. En rojo la distribución de probabilidad.

La irregularidad mensual conlleva un elevado porcentaje de observaciones extremas. En la tabla 11 se indica el número de meses en los que la precipitación en el observatorio ALM fue escasa o nula (<5 mm o <1 mm) así como en aquellos en los que fue especialmente abundante (>75 mm o > 150 mm). Por otro lado, en las figuras 12 a y b se representan los porcentajes, sobre el total, en los que se produjeron precipitaciones mensuales inferiores o superiores a los citados valores.

Como era de esperar son los meses con las medias más bajas los que presentan, con mayor frecuencia, precipitaciones escasas. Efectivamente, puede comprobarse que durante los meses invernales y estivales es cuando la precipitación mensual escasa es más probable, destacando, entre ellos, enero, junio y, especialmente, julio. Uno de cada tres años la precipitación registrada en enero, junio y agosto es inferior a los 5 mm mientras que uno de cada dos años se observa dicha situación en el mes de julio. Para valores mensuales inferiores a 1 mm todavía resulta más destacable, respecto a otros meses, la frecuencia con la que escasean las precipitaciones en los meses de enero y, especialmente, de julio. Así, casi uno de cada tres años el mes de julio no registra precipitación apreciable.

Respecto a los meses lluviosos, al igual de lo que ocurría en los meses secos, la frecuencia de aparición se concentra en aquellos en los que las medias son más elevadas. En efecto, como puede apreciarse en la tabla 11, durante los meses otoñales, incluidos septiembre y diciembre, es cuando los valores superan con mayor frecuencia los 75 mm, especialmente, durante septiembre y octubre. Uno de cada cuatro años las precipitaciones recogidas en estos dos últimos meses superan el citado valor. Para valores superiores a 150 mm destaca el mes de octubre sobre el resto, superándose dicha cantidad, en promedio, cada seis años.

Tabla 11. Número de meses y su porcentaje sobre el total en los que se produjeron precipitaciones inferiores a 5 y 1 mm y superiores a 75 y 150 mm, durante el periodo 1981-2010 (observatorio ALM).

Mes	Precipitación < 5 mm		Precipitación <1 mm		Precipitación >75 mm		Precipitación >150 mm	
	(meses)	(%)	(meses)	(%)	(meses)	(%)	(meses)	(%)
E	9	12,7	5	20	5	9,6	0	0,0
F	6	8,6	2	8	2	3,8	0	0,0
M	5	7,0	1	4	5	9,6	0	0,0
A	3	4,2	1	4	5	9,6	0	0,0
M	3	4,2	0	0	5	9,6	1	7,7
J	9	12,7	2	8	1	1,9	0	0,0
JL	15	21,1	9	36	0	0,0	0	0,0
AG	9	12,7	0	0	1	1,9	1	7,7
S	1	1,4	0	0	8	15,4	3	23,1
O	1	1,4	0	0	8	15,4	5	38,5
N	5	7,0	3	12	6	11,5	2	15,4
D	5	7,0	2	8	6	11,5	1	7,7
Total	71	100,0	25	100	52	100,0	13	100,0

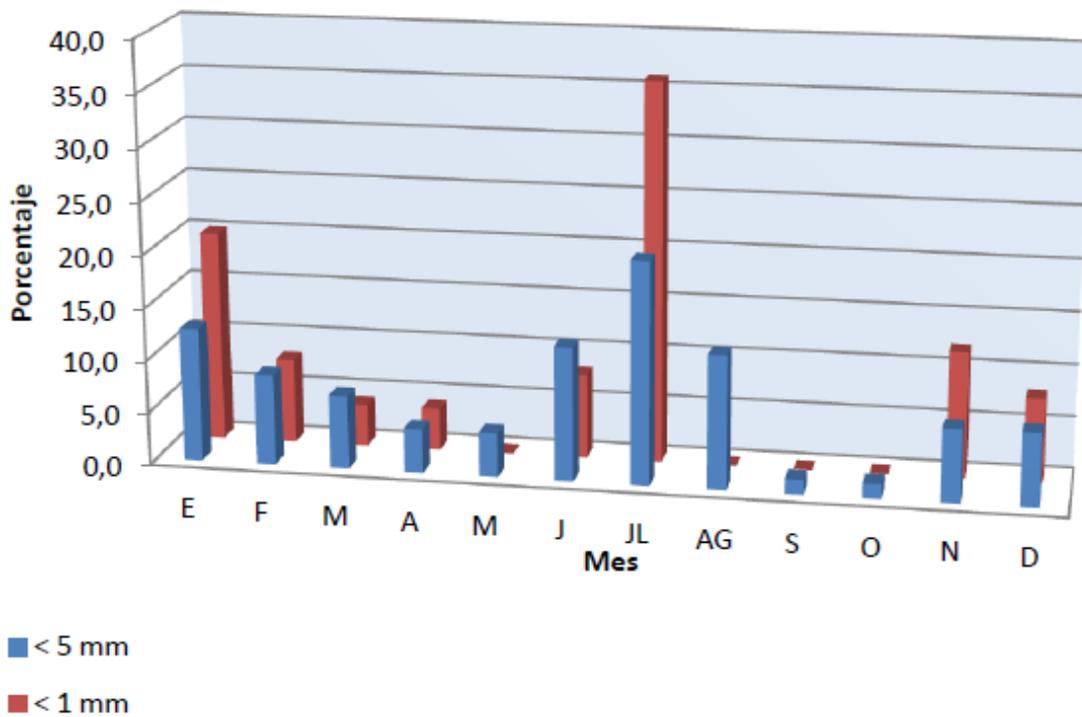


Figura 12 a. Porcentaje de ocasiones, sobre el total, en las que se produjeron precipitaciones inferiores a 5 y 1 mm, durante el periodo 1981.2010 (observatorio ALM).

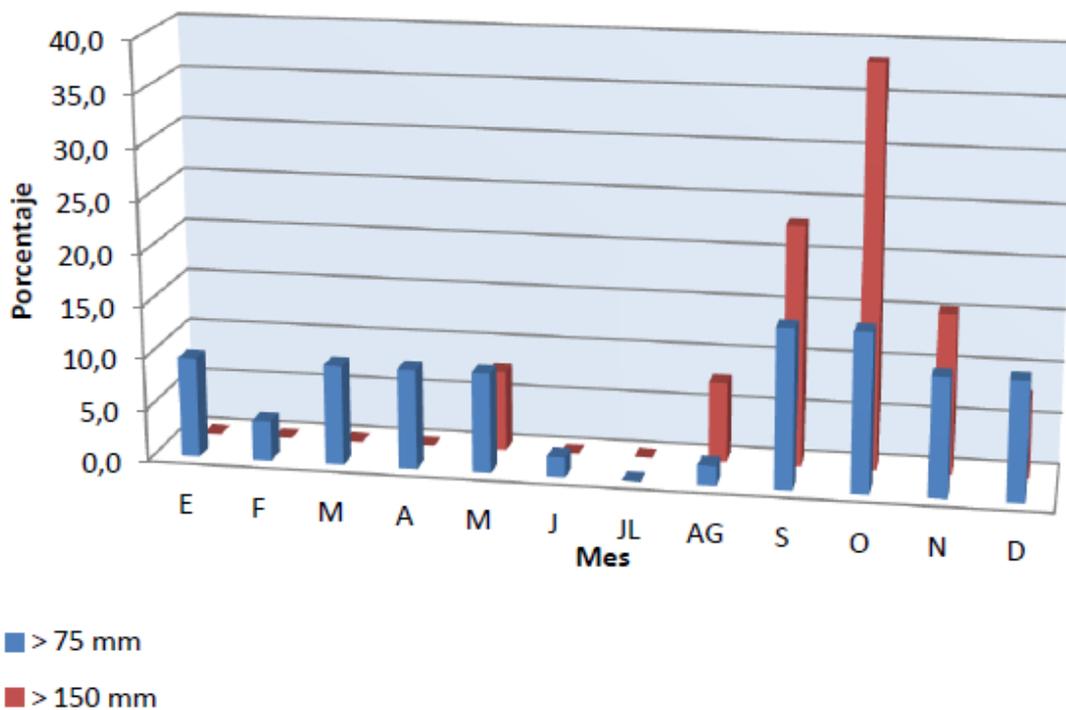


Figura 12 b. Porcentaje de ocasiones, sobre el total, en las que se produjeron precipitaciones superiores a 75 y 150 mm, durante el periodo 1981.2010 (observatorio ALM).

La variabilidad de las precipitaciones también conlleva que el régimen estacional mostrado en la la figura 10 no sea el más frecuente. En la figura 13 se muestran algunos de los diferentes tipos de distribución anual que pueden presentarse:

- Año 1981. Las precipitaciones son superiores a sus valores medios durante el primer semestre del año mientras que en el segundo son muy inferiores. El superávit alcanzado a finales del mes de abril, de casi 100 mm, no compensa la falta de lluvias otoñales por lo que el año acaba con un déficit de más de 100 mm.
- Año 1982. Las precipitaciones son superiores a sus valores medios durante el primer semestre del año mientras que en el segundo son similares. El superávit alcanzado a finales del mes de abril, unos 250 mm, se mantiene hasta el final del año.
- Año 1989. Las precipitaciones son superiores a sus valores medios durante prácticamente todo el año. El superávit total, al final del año, alcanza casi los 800 mm.
- Año 1999. Las precipitaciones están por debajo de sus valores medios prácticamente todo el año. El déficit acumulado al final del año alcanza los 250 mm.
- Año 2005. Las precipitaciones están muy por debajo de sus valores medios durante el invierno, primavera y el verano, mientras que son muy superiores en otoño. El déficit alcanzado a finales del mes de octubre, de más de 150 mm, es compensado sobradamente por las precipitaciones registradas durante el mes de noviembre.

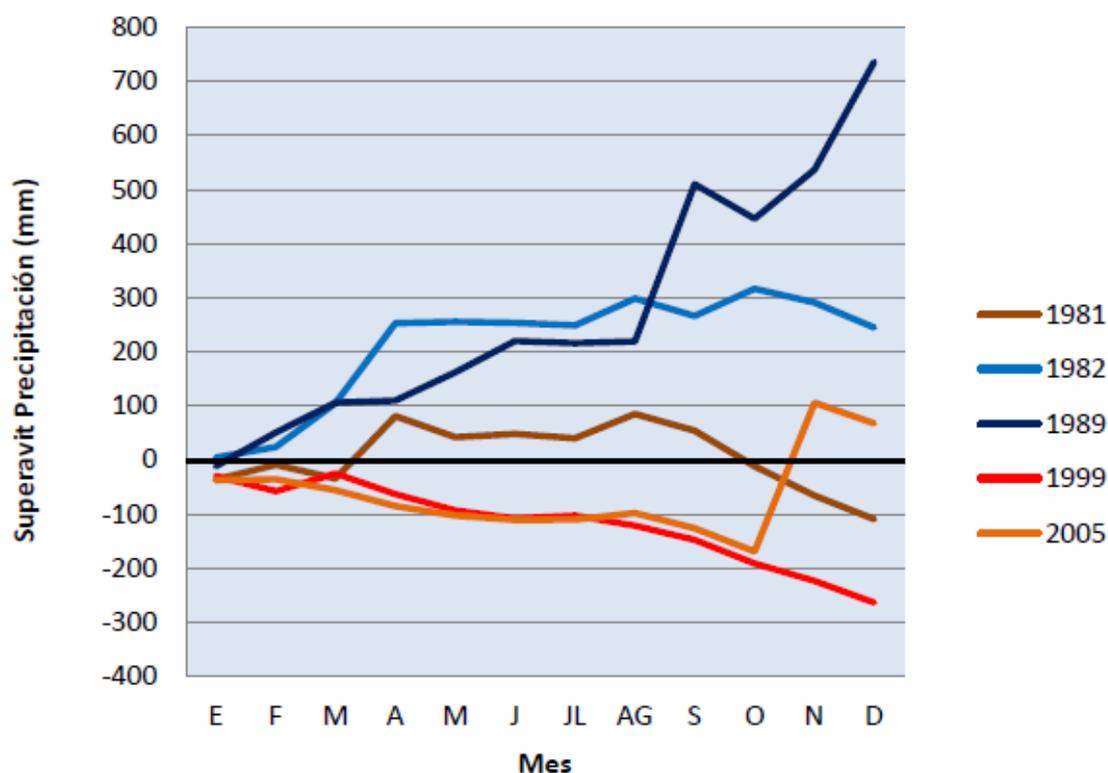


Figura 13. Ejemplos de desviaciones del régimen pluviométrico anual respecto a los valores medios (observatorio CS).

Nuevamente, la identificación de una distribución de probabilidad que se ajuste a las observaciones nos permitirá conocer mejor el comportamiento de la pluviometría mensual. El histograma de la figura 11 nos muestra que los valores no se ajustan a una distribución normal por lo que hay que buscar otro tipo de distribución más adecuada. Como ya indicamos anteriormente, las series climatológicas suelen ajustarse mejor a distribuciones del tipo gamma o de Gumbel por lo que se ha determinado la bondad del ajuste de las observaciones a ambos tipos de distribución. En la mayoría de los casos, como puede observarse en el ejemplo de la figura 14, los datos se ajustan mejor a una distribución de probabilidad del tipo gamma⁴, por lo que se ha elegido ésta para estimar los máximos de precipitación que pueden darse en los observatorios ALM, CS y BC, para diferentes periodos de recurrencia. En las figuras 15, 16 y 17 se han representado los resultados. Por otro lado, en la tabla 12 se muestran los valores máximos esperables en un periodo de 100 años mientras que en la tabla 13 se incluyen los valores máximos mensuales registrados en los tres observatorios antes indicados y en el instituto Francisco Ribalta.

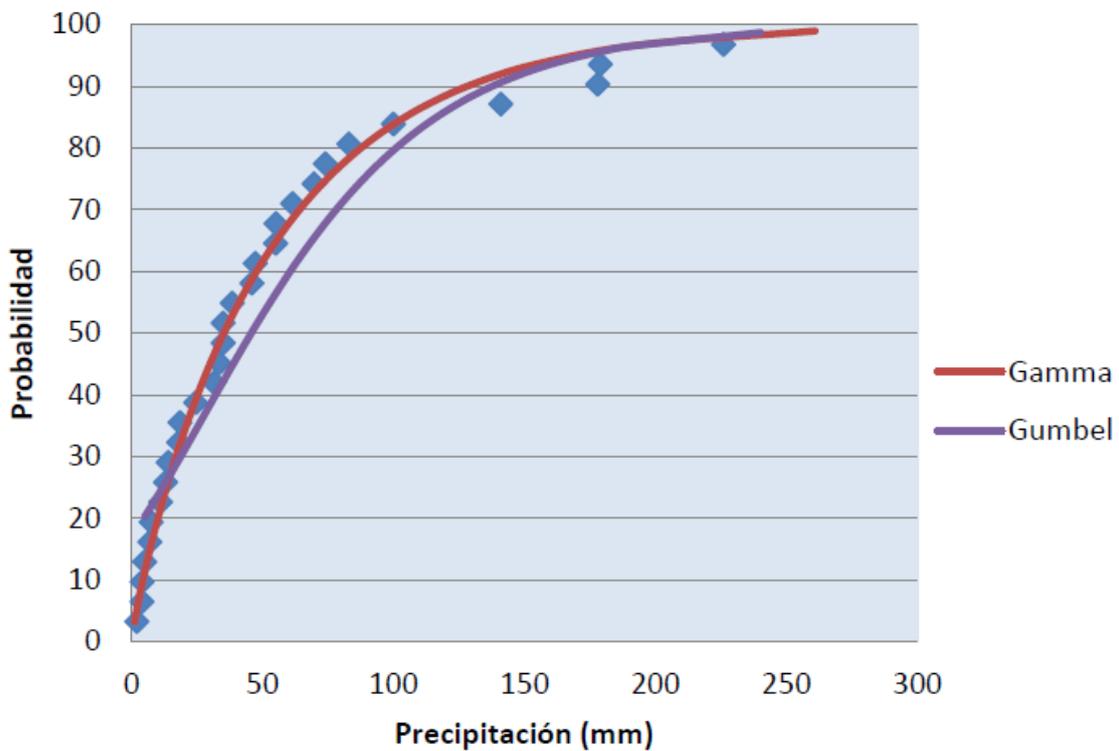


Figura 14. Distribución acumulativa de Gumbel y gamma para los registros del mes de abril en el observatorio BC.

⁴ La distribución gamma no se puede aplicar a valores nulos. En Castellón no es nada extraño que se den precipitaciones mensuales nulas por lo que, en esos casos, se debe crear una función de probabilidad mixta. Para efectuar los ajustes se ha utilizado el programa matemático EasyFit.

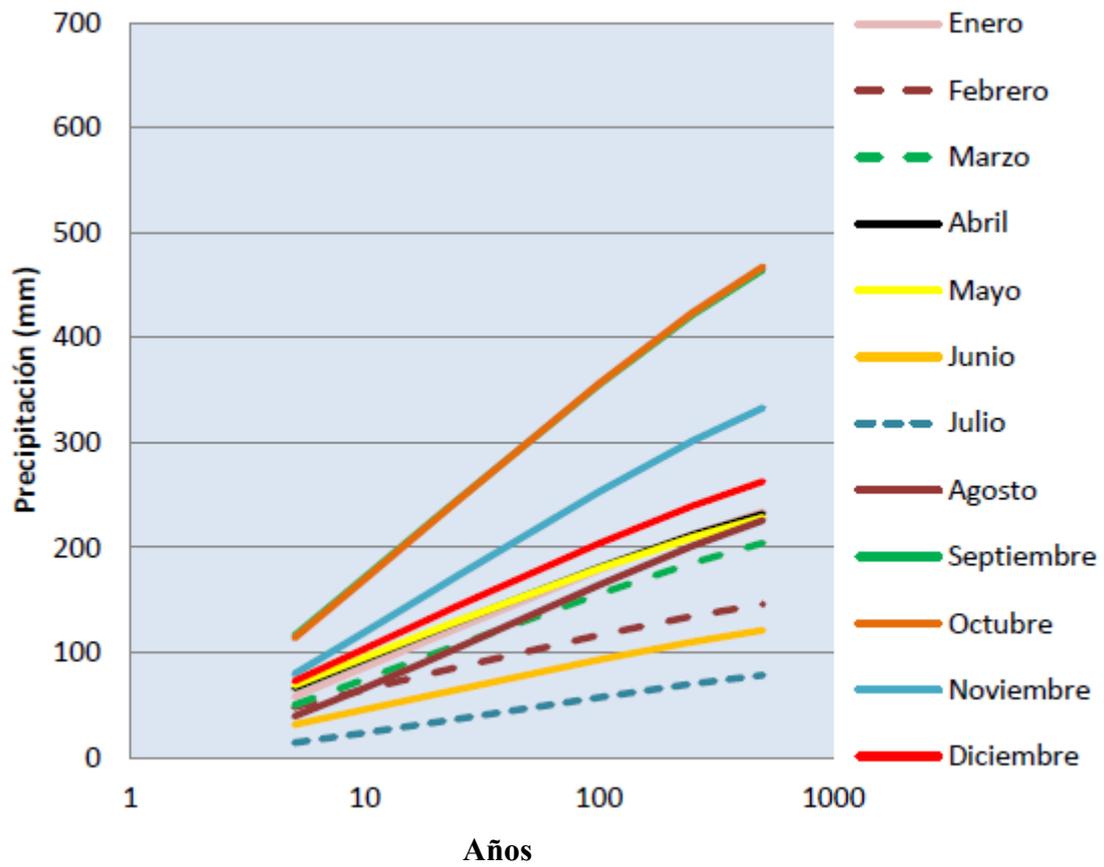


Figura 15. Valores máximos mensuales en el observatorio ALM para distintos periodos de recurrencia.

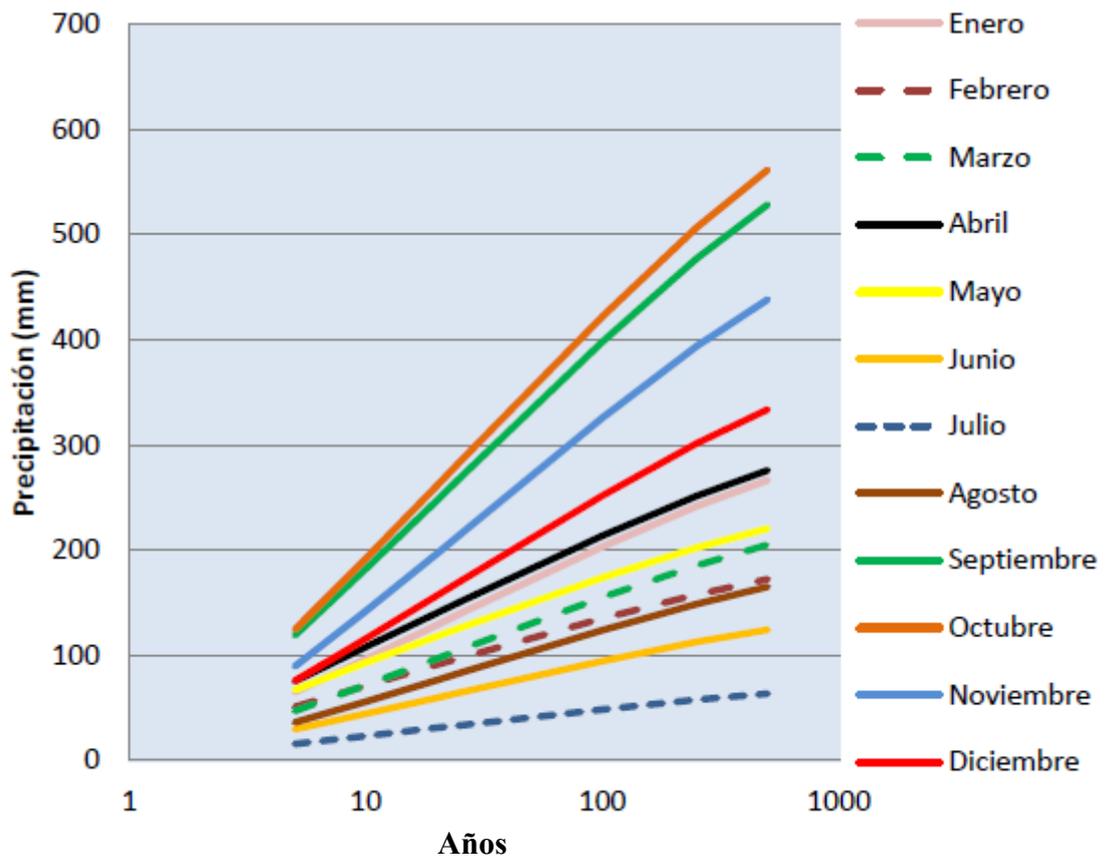


Figura 16. Valores máximos mensuales en el observatorio CS para distintos periodos de recurrencia.

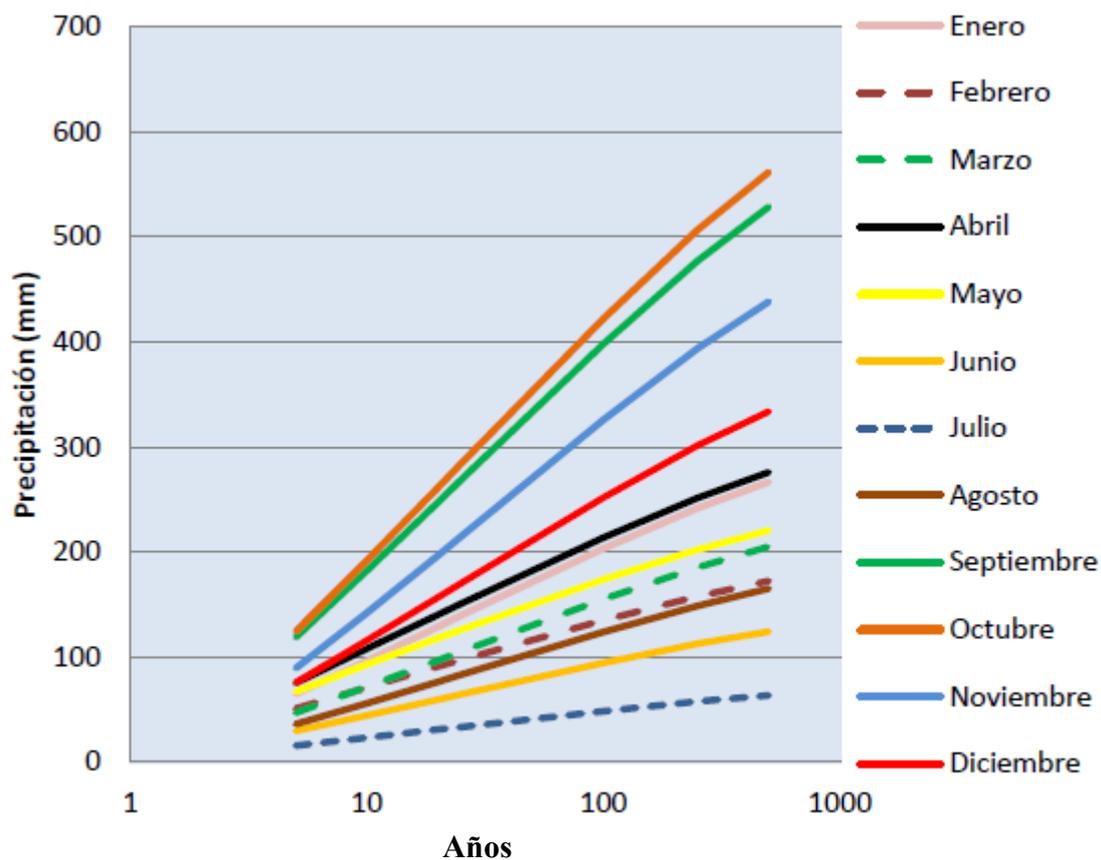


Figura 17. Valores máximos mensuales en el observatorio BC para distintos periodos de recurrencia.

Tabla 12. Precipitaciones mensuales máximas esperables en los observatorios ALM, CS y BC, para un periodo de retorno de 100 años.

Estación	E	F	M	A	M	J	JL	AG	S	O	N	D
ALM	178,9	116,7	155,9	181,2	180,0	93,3	57,5	164,4	355,4	356,4	253,2	204,1
CS	203,2	135,2	155,0	213,8	173,8	94,4	48,5	123,9	398,3	422,4	325,9	251,7
BC	180,0	140,2	160,5	260,7	190,2	108,7	79,6	152,6	450,3	431,5	329,3	253,2

Tabla 13. Valores máximos mensuales registrados en los cuatro observatorios analizados y el año en el que se produjeron.

Estación	Variable	E	F	M	A	M	J	JL	AG	S	O	N	D
IFR	P (mm)	106,8	204,2	150,5	176,0	148,9	128,1	156,0	99,4	263,4	396,6	240,0	206,5
	Año	1946	1928	1968	1946	1962	1944	1932	1968	1963	1962	1934	1971
ALM	P (mm)	126,3	94,2	115,2	146,8	151,9	77,5	61,8	191,8	329,8	297,6	248,7	210,7
	Año	2006	1991	1982	1981	2003	1992	1976	1983	2009	2000	2005	1989
CS	P (mm)	137,5	116,0	110,9	191,0	132,5	82,0	89,0	126,5	359,5	323,5	330,0	245,5
	Año	2006	1991	1982	1982	2003	1992	1987	1983	1989	2000	2005	1989
BC	P (mm)	122,5	129,0	130,0	226,0	138,0	87,5	125,0	148,5	432,0	385,0	271,5	245,0
	Año	1997	1991	1982	1982	2003	1992	1987	1981	2009	2000	2001	1989

Promediando los máximos esperables en los tres observatorios, para un periodo de 100 años, podemos agrupar los meses en los siguientes grupos:

- Meses con máximos inferiores a los 100 mm. En este grupo se encuentran los meses estivales de junio y julio, destacando el mes de julio que, además, es el mes

con la precipitación media más baja. Dentro de la serie histórica cabe reseñar los registros del mes de junio de 1944 y los meses de julio de 1932 y 1987, con periodos de retorno superiores al siglo.

- Meses con máximos entre 100 y 150 mm. En este grupo se encuentran febrero y agosto. Se debe recalcar, como veremos más detenidamente en el siguiente apartado, el cambio que han experimentado la pluviometría de febrero ya que, a finales del siglo XIX y principios del XX, era el mes en el que se podían registrar las precipitaciones más abundantes tras los meses otoñales. De la serie histórica del mes de febrero destacan las precipitaciones recogidas durante los años veinte del pasado siglo y, especialmente, la del año 1928. Por otro lado, del mes de agosto destaca la precipitación registrada en 1983 y especialmente la medida en el observatorio ALM, con un periodo de retorno de más de un siglo.
- Meses con máximos entre 150 y 200 mm. En este grupo se encuentran enero, marzo y mayo. De enero se debe señalar que, a pesar de ser esperables precipitaciones más abundantes que en los meses anteriores, presenta grandes contrastes ya que tras julio es el mes en el que con mayor frecuencia se registran lluvias inapreciables. De las series históricas destacan los registros de marzo de 1968 y mayo de 2003, con periodos de retorno cercanos al siglo.
- Meses con máximos entre 200 y 250 mm. En este grupo se encuentran los meses de abril y diciembre. De las series históricas destacan las precipitaciones de abril de 1946 y 1982 así como las de diciembre de 1971 y 1989, con periodos de retorno cercanos o incluso superiores a los 100 años.
- Meses con máximos superiores a los 250 mm. En este grupo se encuentran los meses típicamente otoñales, es decir, septiembre, octubre y noviembre. De la serie histórica caben destacar las precipitaciones registradas en septiembre de 1989 y 2009, octubre de 1962 y 2000, y las de noviembre de 2005, con periodos de retorno cercanos al siglo.

Respecto a las diferencias observadas en los tres observatorios, en las máximas esperables en 100 años, se puede señalar lo siguiente:

- No se aprecian diferencias significativas (<25 mm) en los meses de enero, febrero, marzo, mayo y junio.
- Se observan diferencias apreciables en los meses de julio y agosto (25-40 mm). En estos meses, las precipitaciones esperables en el observatorio de Almassora pueden ser algo superiores a las del centro urbano de Castellón e, incluso, en el mes de agosto, a las de Benicàssim. Se debe indicar, no obstante, que la precipitación registrada en agosto de 1983, especialmente destacable en este primer observatorio, probablemente haya distorsionado las conclusiones.
- Se aprecian diferencias importantes en los meses de abril, septiembre, octubre, noviembre y diciembre (>40 mm) siendo entre todos ellos el observatorio de Benicàssim el que puede presentar registros más elevados, seguido por el de Castellón y, por último, el de Almassora. Durante estos meses, como ya hemos indicado, se producen actualmente la mayor parte de las ciclogénesis, por lo que nuevamente el factor orográfico juega un papel fundamental.

3.3. Evolución de las precipitaciones

Los promedios mensuales analizados corresponden a los últimos treinta años (periodo 1981-2010), sin embargo, al igual que ocurría con las precipitaciones medias anuales, probablemente también se haya producido una evolución con el tiempo, no solo en su valor absoluto, lo cual es inevitable debido al incremento anual observado, sino en su valor relativo respecto al total anual. Con el objeto de determinar dicha evolución, en la figura 18 se comparan las medias mensuales registradas por Wrobel (Quereda, 1982) durante el periodo 1906-1925 con las correspondientes al observatorio CS durante el periodo 1981-2010. Del examen de la figura se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Febrero es el único mes en el que las precipitaciones registradas por Wroble fueron, en promedio, mucho mayores que las actuales, siendo las diferencias de unos 20 mm⁵.
- Durante la primavera, con excepción de abril, la primera parte del verano (junio y julio) y el mes de noviembre las precipitaciones medias no muestran cambios significativos.
- Durante el resto de meses (enero, abril, agosto, septiembre, octubre y diciembre) se observa un claro incremento de la precipitación media mensual, alcanzando las diferencias en algunos casos los 30 mm.
- Los máximos pluviométricos en las estaciones equinocciales, especialmente en la otoñal, son más acusados actualmente.

De acuerdo con lo indicado, el incremento de las precipitaciones anuales, se ha concentrado, principalmente, en el segundo semestre del año. En el primer semestre, el sensible aumento que han experimentado las lluvias del mes de enero se ha visto neutralizado por el descenso observado en las de febrero, mientras que en el resto de los meses, exceptuando abril, apenas se observan cambios significativos. Debido a ello, las precipitaciones del primer semestre han pasado de suponer el 46% del total anual al 42% actual. Por el contrario, las precipitaciones del semestre estival (de mayo a octubre) e invernal se han mantenido porcentualmente equitativas.

⁵ Durante el periodo en el que se realizaron las observaciones y hasta finales de los años veinte del siglo pasado acaecieron una serie de intensos temporales de forma recurrente, superándose algunos meses de febrero los 150 mm e incluso los 200 mm (totales mensuales). Estos episodios lluviosos no se han vuelto a repetir desde hace más de 74 años. Balbás Cruz (1981) también nos relata un gran temporal de aguas que comenzó el 15 de febrero de 1881 y que duró hasta el día 28, en el que se produjeron graves inundaciones, más típicas de la estación otoñal que de la invernal.

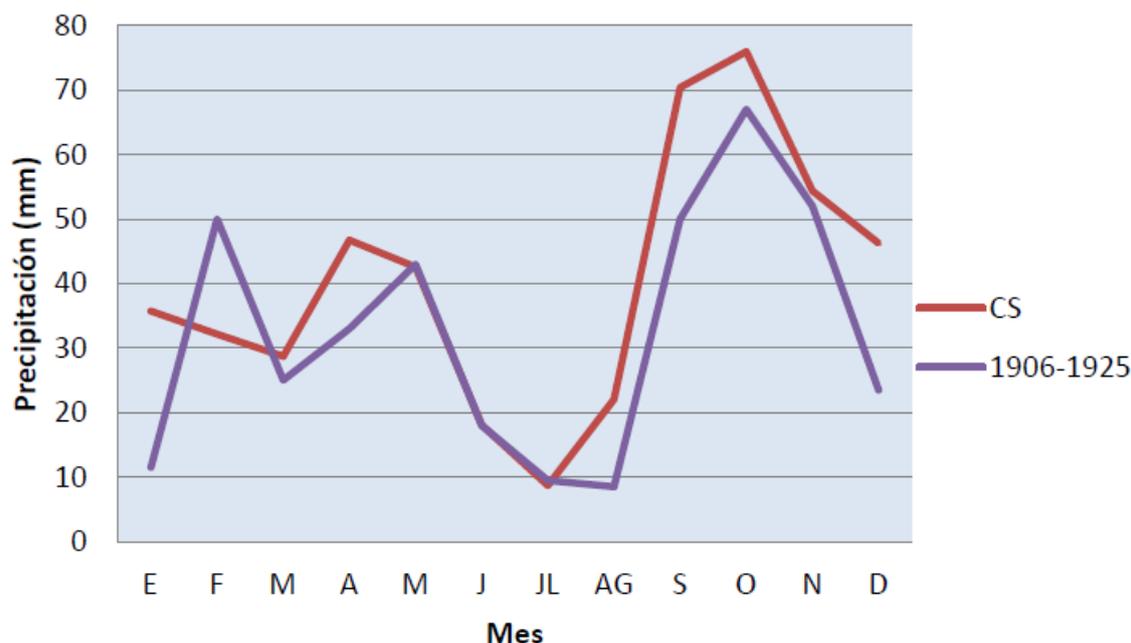


Figura 18. Comparación entre el régimen pluviométrico de principios de siglo XX y el actual.

4. Conclusiones

Las precipitaciones anuales en la capital de la Plana, Almassora y Benicàssim se caracterizan por su escasez. En el periodo 1981-2012 la pluviometría media no superó en ninguno de los tres observatorios analizados los 600 mm. Los valores medios más elevados se registraron en Benicàssim, BC (533,9 mm) y los menores en el de Almassora, ALM (467,1 mm), mientras que en el observatorio de Castellón, CS, registró valores intermedios (481,8 mm).

Las diferencias observadas entre estos observatorios, que llegan a superar el 10%, se pueden explicar por la influencia que tiene la orografía sobre las precipitaciones. En efecto, las sierras costeras, y especialmente el Desierto de las Palmas, más cercanas al observatorio BC, ejercen un efecto de frenado sobre los vientos de levante que favorece la precipitación.

La variabilidad interanual es otro de los rasgos característicos de las precipitaciones en la costa castellonense. Se ha estimado que en un periodo de 100 años son esperables precipitaciones anuales máximas cercanas o incluso superiores a los 1.000 mm, mientras que las mínimas pueden ser inferiores a los 200 mm. Dichas estimaciones se corroboran con datos registrados en el periodo 1981-2010, periodo en el que la precipitación máxima registrada en la ciudad de Castellón quintuplicó a la mínima y en el que el coeficiente de variación alcanzó el 39%. Así pues, podemos considerar la variabilidad pluviométrica de la ciudad de Castellón y alrededores de elevada y muy próxima a la que se registra en el sureste español, que es donde se da la mayor irregularidad de toda la península Ibérica.

Desde que comenzaron las mediciones en la ciudad de Castellón, a principios del siglo XX, las precipitaciones anuales se han incrementado de forma apreciable, siendo el aumento observado, en promedio, de 0,76 mm/año (serie IRF/ALM, periodo 1912-2010). Dicho aumento, sin embargo, no se ha producido de forma progresiva sino que se ha concentrado en la segunda mitad del siglo XX y sus causas, a diferencia de lo ocurrido a finales del siglo XIX, podrían encontrarse en una intensificación de la

circulación meridiana frente a la zonal, como consecuencia del calentamiento global. Sin embargo, a diferencia de lo observado, los modelos matemáticos nos pronostican una reducción de las lluvias a medida que aumenten las temperaturas, lo cual nos confirma lo difícil que resulta hacer predicciones a largo plazo en la cuenca occidental mediterránea, una zona geográficamente singular en la que la actividad convectiva puede tener una influencia notable.

Paralelamente al incremento de las precipitaciones anuales medias, y al menos desde que tenemos registros, se constata una alternancia de periodos secos con otros relativamente húmedos. En dicha alternancia, y aunque no se puede establecer una relación unívoca, parece tener un papel importante la actividad solar. Los ciclos pluviométricos tienen una duración de entre diez y dieciocho años, siendo su promedio de catorce años. Tras la acusada sequía de los años noventa, el primer decenio del siglo XXI se ha caracterizado por lluvias superiores al promedio. La disminución observada a principios de este segundo decenio es una señal de que hemos entrado en un nuevo periodo seco.

Respecto a las lluvias mensuales, el régimen estacional en los observatorios analizados es típicamente mediterráneo con máximos otoñales y mínimos acusados en verano. En general y como era de esperar de los registros anuales, los mayores valores medios se registran en el observatorio de Benicàssim mientras que es en el de Almassora donde se dan los más bajos. Las diferencias más grandes se concentran en los meses de abril, octubre, noviembre y diciembre, es decir, en los meses en los que se producen con mayor frecuencia las grandes ciclogénesis, por lo que nuevamente el factor orográfico parece ser determinante.

El régimen estacional, al igual que ocurría con el anual, presenta una acusada irregularidad por lo que éste puede ser muy diferente al que nos indican los valores medios. Es en los meses invernales y veraniegos cuando la precipitación mensual es más probable que sea inapreciable, siendo en los otoñales cuando ésta puede ser más destacable. Durante los meses otoñales, especialmente en septiembre y octubre, es esperable que se obtengan registros máximos superiores a los 400 mm cada cien años, mientras que en los meses estivales, especialmente en junio y julio, dichos registros no es probable que superen los 100 mm.

La evolución de las precipitaciones anuales medias desde principios del siglo pasado, lógicamente, ha afectado a las precipitaciones mensuales pero no tan solo en su valor absoluto, lo cual es inevitable, sino en su valor relativo. El aumento pluviométrico se ha concentrado, principalmente, en el segundo semestre del año, siendo los meses de enero, febrero, agosto y diciembre los que han experimentado variaciones porcentuales más acusadas. Las precipitaciones del mes de febrero han sido las únicas que han disminuido de forma significativa mientras que las de enero son las que más han aumentado porcentualmente. Cabe destacar la disminución observada en este primer mes, de casi el 50%, por lo que ha pasado de ser uno de los meses en los que se podían registrar mayores precipitaciones a uno en los que éstas son menos probables. Una de las causas del cambio podría encontrarse en la modificación de la circulación zonal durante los meses de invierno de modo que las lluvias, muy abundantes en febrero, se habrían adelantado al mes de enero. Otras de las causas, especialmente en el caso del mes de enero, un mes pluviométricamente muy irregular, sería la escasa secuencia de observaciones utilizada por Wrobel para el cálculo de los promedios.

De acuerdo con las conclusiones de este trabajo, la clara disminución de los recursos hídricos, observada durante los últimos decenios, no se debe a cambios en la pluviometría anual, ya que se ha observado un aumento, ni estacional, ya que las precipitaciones en el semestre estival y el invernal se han mantenido porcentualmente equitativas, por lo que tiene que deberse a la sobreexplotación de estos recursos y al aumento de la evapotranspiración, esta última como consecuencia del incremento de las temperaturas.

Finalmente, indicar que las diferencias existentes en los registros de los diferentes observatorios nos indican la importancia que tiene la ubicación del observatorio. Aunque la ciudad de Castellón no dispone en la actualidad de un observatorio oficial, la instalación de varios observatorios automáticos en el término ha suplido, en parte, dicha carencia.

5. Bibliografía

Balbás Cruz, J.A. (1981): *El libro de la Provincia de Castellón*, Castellón de la Plana, Caja de Ahorros y Monte Piedad de Castellón.

Font Tullot, I. (2003): *La peor sequía en mil años*, RAM, <http://www.meteored.com/ra>.

Ginés Llorens, F. (1995): *Relación entre los factores climáticos y los incendios forestales en la provincia de Castellón*, Castellón de la Plana, quaderns d'aplicació didàctica i investigació, semestral nº9, Institut Francisco Ribalta.

López Gómez, A. (1977): *Geografía de les terres Valencianes*, Valencia, Eliseu Climent.

Ministerio de Medio Ambiente (1988): *Las precipitaciones máximas en 24 horas y sus periodos de retorno en España*, Volumen 0, Madrid, Publicaciones Secretaría General Técnica, Ministerio de Medio Ambiente.

Pérez Cueva, A.J. (1995): *Atlas climático de la Comunidad Valenciana* (pp. 50-53), Valencia, Generalitat Valenciana.

Quereda Sala, J. (1982): *Castellón precipitaciones y radiación solar*, Castellón de la Plana, publicaciones del Excelentísimo Ayuntamiento de Castellón.

Quereda Sala, J. (1994): *¿Hacia un cambio climático? Lliçó d'obertura del curs 1993-94*, Castellón de la Plana, Universitat Jaume I.

Sancho Comins, J. (1982): *Atlas de la Provincia de Castellón de la Plana*, Castellón de la Plana, Caja de Ahorros y Monte de Piedad de Castellón.